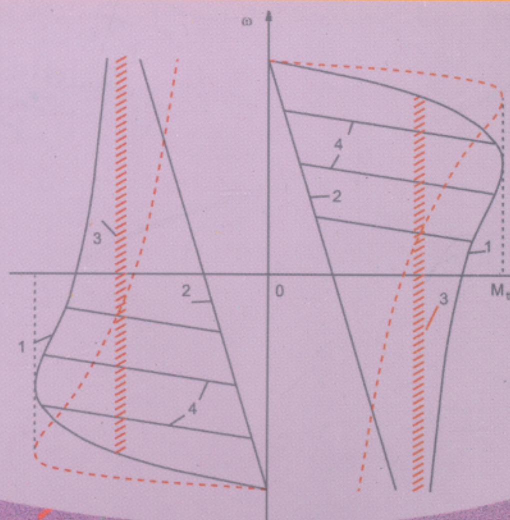
VỤ GIÁO DỤC CHUYÊN NGHIỆP

# GIÁO TRÌNH

# TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

SÁCH DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐÀO TẠO HỆ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP






NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

*PGS.TS.* BÙI ĐÌNH TIẾU

*Giáo trình*

# TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

*(Sách dùng cho các trường đào tạo hệ Trung học chuyên nghiệp và hệ cao đẳng kỹ thuật)*

**(Tái bản lần thứ nhất)**

**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

# Lời giới thiệu

*Năm 2002, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp – Bộ Giáo dục và Đào tạo đã phối hợp với Nhà xuất bản Giáo dục xuất bản 21 giáo trình phục vụ cho đào tạo hệ THCN. Các giáo trình trên đã được nhiều trường sử dụng và hoan nghênh. Để tiếp tục bổ sung nguồn giáo trình đang còn thiếu, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp phối hợp cùng Nhà xuất bản Giáo dục tiếp tục biên soạn một số giáo trình, sách tham khảo phục vụ cho đào tạo ở các ngành : Điện – Điện tử, Tin học, Khai thác cơ khí. Những giáo trình này trước khi biên soạn, Vụ Giáo dục Chuyên nghiệp đã gửi đề cương về trên 20 trường và tổ chức hội thảo, lấy ý kiến đóng góp về nội dung đề cương các giáo trình nói trên. Trên cơ sở nghiên cứu ý kiến đóng góp của các trường, nhóm tác giả đã điều chỉnh nội dung các giáo trình cho phù hợp với yêu cầu thực tiễn hơn.*

*Với kinh nghiệm giảng dạy, kiến thức tích luỹ qua nhiều năm, các tác giả đã cố gắng để những nội dung được trình bày là những kiến thức cơ bản nhất nhưng vẫn cập nhật được với những tiến bộ của khoa học kỹ thuật, với thực tế sản xuất. Nội dung của giáo trình còn tạo sự liên thông từ Dạy nghề lên THCN.*

*Các giáo trình được biên soạn theo hướng mở, kiến thức rộng và cố gắng chỉ ra tính ứng dụng của nội dung được trình bày. Trên cơ sở đó tạo điều kiện để các trường sử dụng một cách phù hợp với điều kiện cơ sở vật chất phục vụ thực hành, thực tập và đặc điểm của các ngành, chuyên ngành đào tạo.*

*Để việc đổi mới phương pháp dạy và học theo chỉ đạo của Bộ Giáo dục và Đào tạo nhằm nâng cao chất lượng dạy và học, các trường cần trang bị đủ sách cho thư viện và tạo điều kiện để giáo viên và học sinh có đủ sách theo ngành đào tạo. Những giáo trình này cũng là tài liệu tham khảo tốt cho học sinh đã tốt nghiệp cần đào tạo lại, nhân viên kỹ thuật đang trực tiếp sản xuất.*

*Các giáo trình đã xuất bản không thể tránh khỏi những sai sót. Rất mong các thầy, cô giáo, bạn đọc góp ý để lần xuất bản sau được tốt hơn. Mọi góp ý xin gửi về : Công ty Cổ phần sách Đại học – Dạy nghề 25 Hàn Thuyên – Hà Nội.*

**VỤ GIÁO DỤC CHUYÊN NGHIỆP - NXB GIÁO DỤC**

# Mở đầu

Truyền động điện là một trong các môn học cơ sở kỹ thuật của các chuyên ngành điện, cơ điện và tự động hoá. Nó nhằm cung cấp cho người học những kiến thức cơ bản về việc sử dụng hợp lý động cơ điện để trang bị cho các máy sản xuất.

Theo mục tiêu trên, nội dung môn học được chia thành 6 chương như sau:

- Chương I : Những vấn đề chung của hệ truyền động điện.
- Chương II : Đặc tính cơ của động cơ điện.
- Chương III : Điều chỉnh các thông số đầu ra của truyền động điện.
- Chương IV : Các hệ truyền động điều chỉnh thông dụng.
- Chương V : Quá trình quá độ trong hệ truyền động điện.
- Chương VI : Tính chọn công suất động cơ.

Các chương mục trên được sắp xếp theo trình tự phù hợp với nhận thức và phát triển nhận thức của người học, bắt đầu từ tiếp cận vấn đề, đề ra bài toán, giải quyết vấn đề, công cụ phân tích và các mục tiêu cần đạt được. Trong từng chương mục, thường nêu khái quát nội dung sau đó lần lượt trình bày từng chi tiết từ đơn giản đến phức tạp, từ các khâu đến tổng thể. Một số mục quan trọng còn có thêm những ví dụ phân tích bằng số hoặc sơ đồ mạch điện.

Đối với hệ trung học yêu cầu bắt buộc là nắm vững các chương I, II, III, VI. Các sơ đồ trong chương IV có thể được thầy giáo lựa chọn một số khâu cần thiết để làm ví dụ ứng dụng cho bài học ở chương III.

Đối với hệ cao đẳng kỹ thuật, yêu cầu nắm vững cả 6 chương của giáo trình. Kết cấu chương mục và nội dung tổng thể này cũng có thể tham khảo cho bậc đại học. Tuy nhiên trong các bài giảng có thể tăng cường lý thuyết phân tích, tính toán các đại lượng và có thêm các sơ đồ minh hoạ cho các phương pháp và luật điều khiển các loại động cơ.

Trong quá trình biên soạn quyển sách này chúng tôi đã dựa vào các tài liệu tham khảo chính nêu ở cuối sách, kết hợp với kinh nghiệm giảng dạy ở các bậc đào tạo trung học chuyên nghiệp, cao đẳng kỹ thuật và đại học. Chúng tôi cố gắng trình bày các vấn đề một cách đơn giản, dễ tiếp thu nhưng vẫn bao quát được nội dung cơ bản của môn học, gắn với thực tế sản xuất kỹ thuật hiện nay.

Tuy nhiên, do thời gian và trình độ có hạn quyển sách chắc chắn vẫn còn sai sót, rất mong được sự đóng góp xây dựng của bạn đọc.

***Tác giả***

*Chương I*

# NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

## 1.1. CẤU TRÚC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

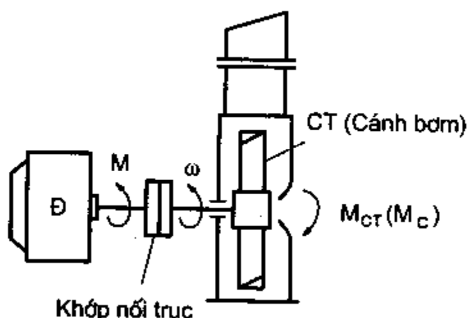
### 1.1.1. Định nghĩa hệ truyền động điện

Hệ truyền động điện là tổ hợp của nhiều thiết bị và phần tử điện – cơ dùng để biến đổi điện năng thành cơ năng cung cấp cho cơ cấu công tác trên các máy sản xuất, đồng thời có thể điều khiển dòng năng lượng đó tuỳ theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất.

### 1.1.2. Hệ truyền động của máy sản xuất

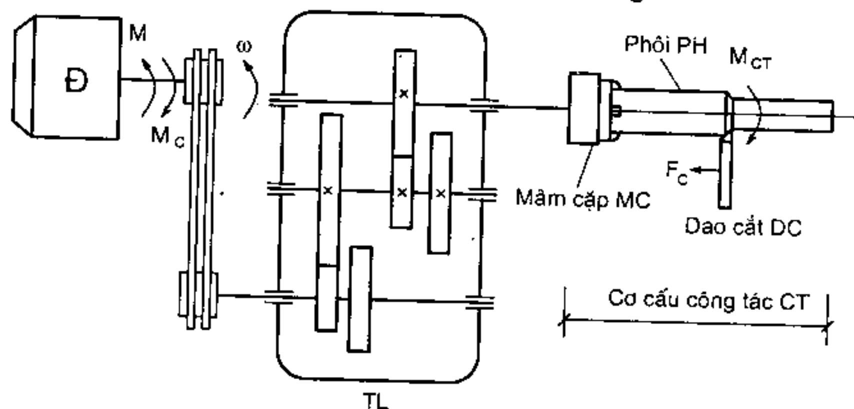
Hãy xét sơ đồ truyền động của 3 loại máy sau đây :

***a) Truyền động của máy bơm nước*** (hình 1-1). Động cơ điện Đ biến đổi điện năng thành cơ năng tạo ra momen M làm quay trục máy và các cánh bơm. Cánh bơm chính là cơ cấu công tác CT, nó chịu tác động của nước tạo ra momen $M_{CT}$ ngược chiều tốc độ quay ω của trục, chính momen này tác động lên trục động cơ, ta gọi nó là momen cản $M_C$. Nếu $M_C$ cân bằng với momen động cơ : $M=M_C$ thì hệ sẽ có chuyển động ổn định với tốc độ không đổi ω = const.




*Hình 1 -1. Truyền động của máy bơm nước*

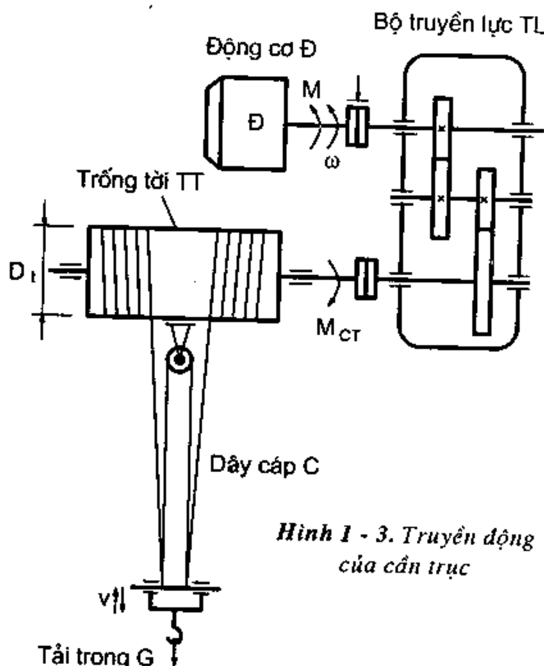
***b) Truyền động mâm cặp máy tiện (hình 1-2).*** Cơ cấu công tác CT bao gồm mâm cặp MC, phôi (kim loại) PH được kẹp trên mâm và dao cắt DC. Khi làm việc động cơ Đ tạo ra momen M làm quay trục, qua bộ truyền lực TL gồm đai truyền và các cặp bánh răng, chuyển động quay được truyền đến mâm cặp và phôi. Lực cắt do dao tạo ra trên phôi sẽ hình thành momen $M_{CT}$ tác động trên cơ cấu công tác có chiều ngược với chiều chuyển động. Nếu dời điểm đặt của $M_{CT}$ về trục động cơ ta sẽ có momen cản $M_C$ (thay thế cho $M_{CT}$). Cũng tương tự như ở ví dụ trước, khi $M = M_C$ hệ sẽ làm việc ổn định với tốc độ quay $\omega$ = const và tốc độ cắt của dao trên phôi cũng sẽ không đổi.




*Hình 1 -2. Truyền động mâm cặp máy tiện*

***c) Truyền động của cần trục hoặc máy nâng (hình 1-3)***

Cơ cấu công tác gồm trống tời TT, dây cáp C và tải trọng G. Lực trọng trường G tác động lên trống tời tạo ra momen trên cơ cấu công tác $M_{CT}$ và nếu dời điểm đặt của nó về trục động cơ ta sẽ có momen cản $M_c$ (thay thế cho $M_{CT}$). Còn động cơ Đ thì tạo ra momen quay M. Khác với hai ví dụ trước, ở cần trục và máy nâng $M_{CT}$ (hoặc $M_c$) có chiều tác động do lực trọng trường quyết định nên không phụ thuộc chiều của tốc độ, nghĩa là có trường hợp nó ngược chiều chuyển động – cơ




*Hình 1 - 3. Truyền động của cần trục*

cấu công tác tiêu thụ năng lượng do động cơ cung cấp và có trường hợp $M_{CT}$ cùng chiều chuyển động - cơ cấu công tác gây ra chuyển động, tạo ra năng lượng cấp cho trục động cơ.

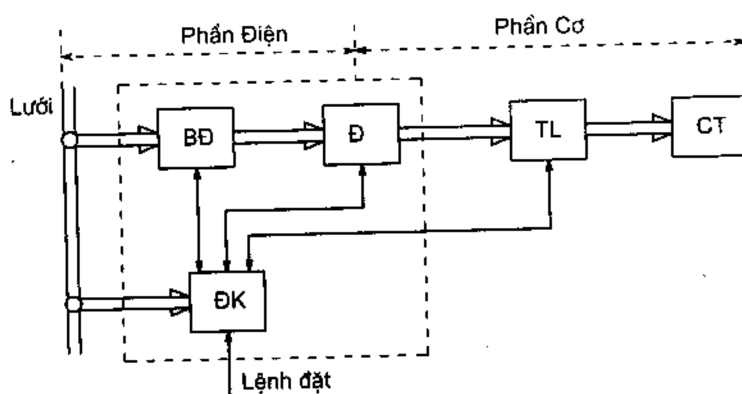
Ví dụ, khi nâng tải trọng, động cơ cấp năng lượng để gây ra chuyển động : M cùng chiều ω. Tải trọng cản trở chuyển động và tiêu thụ năng lượng do động cơ cấp vào hệ : $M_c$ ngược chiều ω.

Khi hạ tải trọng nặng, tải trọng với lực trọng trường và thế năng sẽ làm trống tời quay. Chính thế năng đó cấp vào hệ và gây ra chuyển động : $M_{CT}$ (hoặc $M_c$) cùng chiều ω. Năng lượng qua bộ truyền TL sẽ đưa về động cơ làm quay trục động cơ. Lúc này động cơ làm việc như một máy phát điện, tiêu thụ cơ năng và biến thành điện năng. Đồng thời momen do động cơ sinh ra sẽ ngược chiều quay của trục : M ngược chiều ω. Động cơ đã biến thành một bộ phanh hãm.

### 1.1.3. Cấu trúc chung của hệ truyền động điện

Trong các ví dụ trên, động cơ Đ có thể được nối trực tiếp vào lưới điện công nghiệp hoặc cũng có thể được nối vào một bộ nguồn riêng, gọi là thiết bị biến đổi (BĐ) để tạo ra dạng điện năng cần thiết với những thông số phù hợp với yêu cầu của động cơ.

Có thể mô tả khái quát cấu trúc của hệ truyền động điện bằng sơ đồ khối hình 1-4. Ngoài các khâu đã giới thiệu ở trên hệ còn có bộ điều khiển ĐK để đóng cắt, bảo vệ và điều khiển toàn hệ thống.




*Hình 1 - 4. Cấu trúc của hệ truyền động điện*

Để thuận tiện cho việc khảo sát ta chia các khâu của hệ truyền động thành hai phần : phần điện và phần cơ.

*Phần điện* gồm lưới điện, bộ biến đổi BĐ, mạch điện – từ của động cơ Đ và các thiết bị điều khiển ĐK.

*Phần cơ* gồm roto và trục động cơ, khâu truyền lực TL và cơ cấu công tác CT. Việc nghiên cứu hệ thống sẽ được bắt đầu từ phần cơ.

### 1.1.4. Phân loại các hệ truyền động điện

Người ta phân loại truyền động điện theo nhiều cách tuỳ theo đặc điểm của động cơ điện, mức độ tự động hoá, đặc điểm hoặc chủng loại thiết bị biến đổi, công suất của hệ thống ... Từ cách phân loại sẽ hình thành ra tên gọi của hệ, ví dụ :

***a) Theo đặc điểm của động cơ điện*** ta có truyền động điện một chiều (dùng động cơ điện một chiều), truyền động điện không đồng bộ (dùng động cơ điện không đồng bộ), truyền động điện đồng bộ (dùng động cơ điện đồng bộ), truyền động bước (dùng động cơ bước) ...

Truyền động điện một chiều dược sử dụng cho các máy sản xuất có yêu cầu điều chỉnh tốc độ và momen. Nó có chất lượng điều chỉnh tốt, tuy nhiên động cơ điện một chiều có cấu tạo phức tạp và giá thành cao, hơn nữa nó đòi hỏi phải có bộ nguồn một chiều, do đó trong những trường hợp không có yêu cầu cao về điều chỉnh, người ta thường sử dụng truyền động không đồng bộ. Trong những năm gần đây, truyền động không đồng bộ phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là các hệ có điều khiển tần số. Những hệ này đã đạt được chất lượng điều chỉnh cao, tương đương với hệ truyền động một chiều. Tuy chúng đòi hỏi về bộ biến đổi (biến tần) phức tạp nhưng bù lại chúng được trang bị động cơ không đồng bộ rẻ và đơn giản hơn so với động cơ điện một chiều.

***b) Theo tính năng điều chỉnh*** ta có truyền động không điều chỉnh (khi động cơ điện chỉ làm việc ở một cấp tốc độ) và truyền động điều chỉnh. Các hệ truyền động không điều chỉnh thường phải kết hợp với một hộp tốc độ để thực hiện điều chỉnh bằng cơ khí, do đó kết cấu của phần cơ phức tạp, chất lượng điều chỉnh thấp, giá thành của máy sản xuất cao. Các hệ truyền động điều chỉnh cho phép điều chỉnh tốc độ và momen của máy sản xuất bằng cách điều chỉnh từ động cơ điện (phương pháp điều khiển điện), do đó kết cấu máy đơn giản, chất lượng điều chỉnh cao và thuận tiện trong thao tác. Một số trường hợp, khi dải điều chỉnh tốc độ của động cơ đủ rộng, người ta có thể không dùng hộp biến tốc, khi đó hệ truyền động được gọi là "truyền động không có hộp biến tốc".

***c) Theo mức độ tự động hoá*** ta có hệ truyền động điện không tự động và hệ truyền động tự động. Các hệ không tự động thường là đơn giản và được sử dụng cho bất kỳ ở đâu nếu có thể được. Lúc đó phần điện của hệ có thể chỉ có động cơ điện không đồng bộ và một vài khí cụ đóng cắt - bảo vệ như áptômát, khởi động từ. Các hệ truyền động tự động là các hệ truyền động điều chỉnh vòng kín có vài mạch phản hồi.

Chất lượng điều chỉnh của các hệ này là rất cao, có thể đáp ứng bất kỳ yêu cầu nào của quá trình công nghệ của máy sản xuất.

*d) Một số cách phân loại khác :* như truyền động đảo chiều và không đảo chiều, truyền động đơn (nếu dùng một động cơ) và truyền động nhiều động cơ (nếu dùng nhiều động cơ để phối hợp truyền động cho một cơ cấu công tác), truyền động van (nếu dùng thiết bị biến đổi van bán dẫn) ...

Tên gọi của một hệ truyền động có thể hình thành từ nhiều cách phân loại, ví dụ hệ truyền động tiristo một chiều có đảo chiều, hệ truyền động điện không đồng bộ điều chỉnh momen dùng nghịch lưu dòng điện ...

## 1.2. PHẦN CƠ CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

### 1.2.1. Các đại lượng đặc trưng cho các phần tử cơ học

Như đã nêu, phần cơ của hệ bao gồm các phần tử chuyển động từ roto động cơ cho đến cơ cấu công tác (hình 1-1, 1-2, 1-3). Mỗi phần tử chuyển động được đặc trưng bởi các đại lượng sau :

Lực tác động (F) : N (Niutơn)

Momen tác động (M) : Nm (Niutơn mét)

Tốc độ góc ($\omega$) : rad/s (radian/giây)

Tốc độ thẳng (v) : m/s (mét/giây)

Momen quán tính (J) : $kgm^2$ (kilôgamkhối mét$^2$)

Khối lượng (m) : kg (kilogam khối)

Chú ý : Nếu các đại lượng trên cho theo các đơn vị khác, thì khi tính toán cần đổi về hệ đơn vị đo lường quốc tế (SI) như đã nêu. Ví dụ, nếu lực cho theo KG, momen cho theo KGm, tốc độ cho theo vòng/phút, quán tính cho theo momen đà $GD^2$ với đơn vị là $KGm^2$, thì : 1KG = 9,8N; 1KGm = 9,8N.m; 1 vg/ph = 9,55rad/s; $GD^2$ [$KGm^2$] = 4J [ $Kgm^2$].

### 1.2.2. Sơ đồ tính toán phần cơ

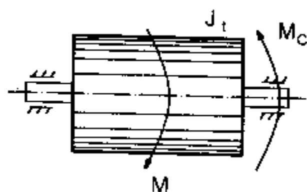
Trường hợp đơn giản như truyền động của máy bơm (hình 1-1), động cơ và cơ cấu công tác cùng làm việc với một tốc độ. Trục động cơ được nối trực tiếp với trục máy bơm không qua hộp giảm tốc. Ta có thể ghép hai phần tử thành một khối như trên hình 1-5, trong đó :

M – momen của động cơ

$M_C = M_{CT}$ – momen cản do cánh bơm tạo ra đặt trên trục động cơ

$J_t = J_đ + J_{CT}$ – momen quán tính tổng của hệ, gồm momen quán tính của động cơ $J_đ$ và momen quán tính phần quay của máy bơm $J_{CT}$ (cùng ở một tốc độ làm việc).

Sơ đồ hình 1-5 thay thế cho hình 1-1 dùng để tính toán, được gọi là sơ đồ tính toán phần cơ dạng đơn khối.




*Hình 1 - 5. Sơ đồ tính toán phần cơ dạng đơn khối*

Đối với các trường hợp phức tạp, như các ví dụ trên hình 1-2, hình 1-3, phần cơ có nhiều phần tử chuyển động theo những tốc độ khác nhau, các lực và momen cùng tác động lên những trục khác nhau. Tuy vậy, nếu coi các phần tử là cứng tuyệt đối, nghĩa là không có biến dạng đàn hồi và khe hở, thì người ta cũng biến đổi để ghép chúng thành một khối theo sơ đồ tính toán hình 1-5. Khi đó, ta chọn tốc độ của một trục nào đó làm tốc độ tính toán, (thường chọn tốc độ động cơ ω), các đại lượng momen, lực, momen quán tính... của các phần tử làm việc ở những tốc độ khác đều được qui đổi về tốc độ tính toán nói trên (tốc độ động cơ). Công thức quy đổi như sau :

* ***Quy đổi momen*** $M_i$ tác động vào phần tử thứ i làm việc ở tốc độ $\omega_i$ về tốc độ ω :

$$M_{i.qd} = M_i \cdot \frac{1}{i.\eta} \qquad (1\text{-}1)$$

Trong đó :

$i = \dfrac{\omega}{\omega_i}$ - tỷ số truyền tính từ trục động cơ đến trục thứ i.

η - hiệu suất của bộ truyền lực từ trục động cơ đến trục thứ i.

Nếu phần tử i có chuyển động thẳng với tốc độ $V_i$ và có lực tác động là $F_i$ thì :

$$M_{i.qd} = F_i \cdot \frac{1}{\rho\eta} \qquad (1\text{-}2)$$

Trong đó $\rho = \dfrac{\omega}{V_i}$

* ***Quy đổi momen quán tính*** $J_i$ của phần tử thứ i làm việc với tốc độ $\omega_i$ về tốc độ ω :

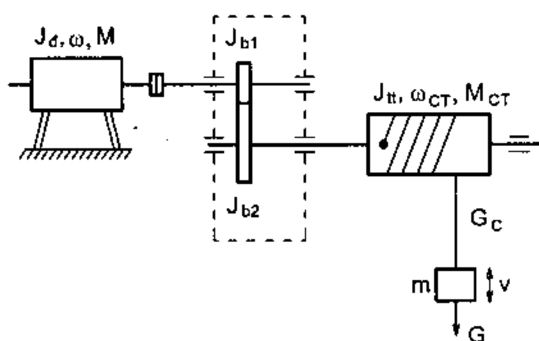
$$J_{i.qd} = J_i \cdot \frac{1}{i^2} \qquad (1\text{-}3)$$

Đối với phần tử chuyển động thẳng với tốc độ $V_i$, công thức quy đổi từ khối lượng m về momen quán tính ở tốc độ góc ω như sau :

$$J_{i.qd} = m \cdot \frac{1}{\rho^2} \qquad (1\text{-}4)$$

Sau khi quy đổi ta được sơ đồ tính toán đơn khối như trên hình 1-5. Trong đó : M- momen động cơ ; $M_C = M_{CT}$ ( $1/ i\eta$) ; $J_t = J_d + \Sigma J_{i.qd}$

*** *Ví dụ 1 - 1 :*** Lập sơ đồ tính toán đơn khối cho phần cơ của một cần trục có sơ đồ động học như trên hình 1-6.




***Hình 1 - 6.*** *Sơ đồ động học của cần trục*

Lấy tốc độ tính toán là tốc độ động cơ ω, khi đó momen động cơ M được giữ nguyên.

Momen phụ tải do tải trọng G gây ra, tác động lên trống tời sẽ là:

$$M_{CT} = G.\frac{D_t}{2}.\frac{1}{\eta_t}, \text{ N.m}$$

Trong đó : G – Tải trọng của vật nâng, N;

$D_t$ - Đường kính trống tời, m;

$\eta_t$ – Hiệu suất của trống tời.

Quy đổi $M_{CT}$ từ tốc độ $\omega_{CT}$ về tốc độ ω, tức dời điểm đặt của $M_{CT}$ từ trục trống tời về trục động cơ, theo (1-1) :

$$M_c = M_{CT}\frac{1}{i.\eta}, \text{ N.m}$$

Trong đó : $i = \omega/\omega_{ct}$ ;

η - hiệu suất của hộp giảm tốc;

Cũng có thể xác định momen cản $M_C$ bằng cách quy đổi lực trọng trường G của tải trọng từ tốc độ thẳng v về tốc độ ω của động cơ, theo (1-2) :

$$M_C = G.\frac{1}{\rho\eta'}$$

Trong đó : $\rho = \omega/v$ ; $\eta' = \eta \cdot \eta_t$ ( tích của hiệu suất hộp giảm tốc và hiệu suất của trống tời).

Momen quán tính của động cơ $J_d$ và của bánh răng 1 ($J_{b1}$) không phải quy đổi vì hai phần tử này làm việc với tốc độ ω.

Momen quán tính bánh răng 2 ($J_{b2}$) được quy đổi từ tốc độ $\omega_{CT}$ về ω theo (1-3) :

$$J_{b2.qd} = J_{b2} \cdot \frac{1}{i^2}, \text{ Kgm}^2$$

Tương tự, momen quán tính $J_{tt}$ của trống tời được quy đổi thành :

$$J_{tt.qđ} = J_{tt} \cdot \frac{1}{i^2}, \text{ Kgm}^2$$

Momen quán tính quy đổi của tải trọng G có khối lượng là m và vận tốc v :

$$J_{G.qđ} = m \cdot \frac{1}{\rho^2}, \text{ Kgm}^2$$

Kết quả ta được sơ đồ tính toán đơn khối hình 1-5 với các đại lượng sau :

M – momen động cơ.

$M_c$ – momen cản do tải trọng G hoặc $M_{CT}$ trên trống tời quy đổi .

$J_t = J_đ + J_{b1} + J_{b2.qđ} + J_{tt.qđ} + J_{G.qđ}$ - momen quán tính tổng của hệ.

*** *Ví dụ 1 - 2 :*** Xác định momen cản và momen quán tính của tải trọng và dây cáp quy đổi về trục động cơ biết rằng cơ cấu nâng hạ có sơ đồ động học tương tự như trên hình 1-6, trong đó bộ truyền gồm 2 cặp bánh răng có tỷ số truyền của từng cặp $i_1 = i_2 = 5$, trọng lượng của vật nâng G = 10KN, trọng lượng dây cáp $G_c$ = 10% G ; tốc độ nâng v = 16,5 m/s ; Hiệu suất mỗi cặp bánh răng $\eta_1 = \eta_2 = 0{,}95$ ; Hiệu suất trống tời $\eta_t$ =0,93 ; Đường kính trống tời $D_t$ = 0,6 m.

***Giải :***

Lấy tốc độ tính toán là tốc độ động cơ ω, khi đó momen động cơ M được giữ nguyên.

Tổng trọng lượng được nâng hạ :

$$G_t = G + G_c = 10 + 1 = 11\text{KN} = 11.000 \text{ N}$$

Momen cản do $G_t$ gây ra trên trống tời :

$$M_{CT} = G_t \cdot \frac{D_t}{2} \cdot \frac{1}{\eta_t} = 11.000 \cdot \frac{0{,}6}{2} \cdot \frac{1}{0{,}93} = 3548 \text{ Nm}$$

Tỷ số truyền của hộp giảm tốc (tính từ trục động cơ đến trục trống tời) :

$$i = i_1 \cdot i_2 = 5.5 = 25$$

Hiệu suất của hộp giảm tốc:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0{,}95^2 = 0{,}9$$

Vậy momen cản tĩnh của tải trọng và dây cáp ($G_t$) quy đổi về trục động cơ sẽ là:

$$M_C = M_{CT} \cdot \frac{1}{i\eta} = 3548 \cdot \frac{1}{25.0{,}9} = 157{,}7 \text{ Nm}$$

Khối lượng của tải trọng và dây cáp tính theo kg :

$$m = \frac{G_t}{9,81} = \frac{11.000}{9,81} = 1121 \text{ kg}$$

Quan hệ giữa tốc độ quay $n_t$ (vg/ph) của trống tời với tốc độ nâng v (m/s) của tải trọng :

$$n_t = \frac{60v}{\pi D_t}$$

Thay $$n_t = \frac{60}{2\pi}\omega_t \text{, ta được } \frac{60}{2\pi}\omega_t = \frac{60}{\pi D_t} v$$

Từ đó, rút ra tỷ số truyền (tỷ số biến đổi tốc độ từ $\omega_t$ sang v) của trống tời- dây cáp:

$$\rho_t = \frac{\omega_t}{v} = \frac{2}{D_t} = \frac{2}{0,6} = 3,33 \quad 1/m$$

Tỷ số truyền từ trục động cơ đến dây cáp :

$$\rho = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega}{\omega_t} \cdot \frac{\omega_t}{v} = i.\rho_t = 25.3,33 = 83,25 \quad 1/m$$

Vậy momen quán tính của tải trọng và dây cáp quy đổi về trục động cơ sẽ là :

$$J_{G.qd} = m.\frac{1}{\rho^2} = 1121 \cdot \frac{1}{83,25^2} = 0,16 \text{ kgm}^2$$

### 1.2.3. Phân loại momen cản

Momen cản được hình thành tại cơ cấu công tác và phụ thuộc đặc điểm công nghệ của máy sản xuất, do đó rất đa dạng. Vì momen cản tác động lên trục động cơ, do đó tính chất của nó sẽ ảnh hưởng đến sự làm việc của động cơ và hệ thống truyền động. Vì vậy, khi khảo sát các hệ truyền động, ta cần biết được momen cản có dạng như thế nào, hoặc thuộc loại nào.

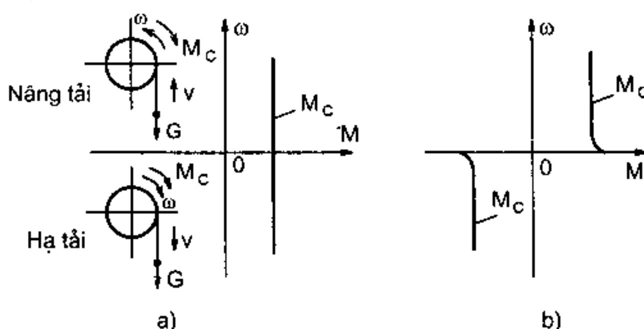
Có thể phân loại momen cản theo nhiều cách dựa vào những dấu hiệu đặc trưng của chúng. Tuy nhiên, hay dùng nhất là ba cách phân loại sau : Phân loại theo chiều tác dụng (so với chiều tốc độ) ; phân loại theo hàm số phụ thuộc tốc độ; và phân loại theo thời gian tác dụng.

***a) Phân loại momen cản $M_c$ theo chiều tác dụng***

Theo đặc điểm về chiều tác dụng của $M_c$ so với chiều của tốc độ $\omega$ ta chia momen cản thành hai loại :

- *Momen cản thế năng :* là loại có chiều không phụ thuộc vào chiều tốc độ, ví dụ momen cản do tải trọng sinh ra ở máy nâng, cần trục. Nó có chiều luôn hướng theo lực trọng trường không phụ thuộc vào chiều nâng hay hạ tải

trọng. Có thể biểu diễn loại $M_c$ này như trên hình 1-7a, ở đó $M_c$ không đổi dấu dù $\omega > 0$ hay $\omega < 0$, nghĩa là $M_c$ có thể cùng chiều hoặc ngược chiều với tốc độ chuyển động.




*Hình 1 - 7. a) Đồ thị momen cản thế năng ; b) Đồ thị momen cản phản kháng*

Rõ ràng là khi $M_c$ tác động ngược chiều $\omega$, cơ cấu công tác có tác dụng cản trở chuyển động, nghĩa là nó tiêu thụ năng lượng, còn động cơ nhận điện năng từ lưới, biến đổi thành cơ năng để cung cấp cho cơ cấu công tác. Đó chính là trường hợp nâng tải trọng, được minh hoạ bằng các mũi tên chỉ chiều của $M_c$, $\omega$, v, G trên hình 1-7a (phần phía trên trục hoành).

Ngược lại, khi $M_c$ cùng chiều tốc độ, như trong trường hợp hạ tải trọng, thì $M_c$ hỗ trợ chuyển động, nghĩa là cơ cấu công tác lấy thế năng của tải trọng G, tạo ra cơ năng cung cấp cho động cơ. Như vậy momen cản thế năng là loại phụ tải có khả năng trao đổi năng lượng thuận nghịch với động cơ điện.

- *Momen cản phản kháng :* luôn luôn có chiều ngược lại với tốc độ, ví dụ momen do lực ma sát sinh ra. Các cơ cấu công tác có momen cản loại này chỉ tiêu thụ năng lượng mà thôi. Đồ thị biểu diễn momen cản phản kháng được vẽ trên hình 1-7b.

Cách phân loại này thường sử dụng khi phân tích các trạng thái làm việc của động cơ và hệ thống.

***b) Phân loại theo hàm số phụ thuộc giữa momen cản và tốc độ - Đặc tính cơ của máy sản xuất***

Tuỳ thuộc vào từng loại máy sản xuất, tức phụ thuộc vào đặc điểm của công nghệ từng máy, lực cản hoặc momen cản có giá trị phụ thuộc tốc độ làm việc theo những hàm số $M_c = f(\omega)$ khác nhau. Quan hệ $M_c = f(\omega)$ được gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất.

Mặc dù hàm số $M_c = f(\omega)$ của các máy sản xuất rất đa dạng, nhưng để thuận tiện trong việc khảo sát, người ta phân chúng thành 4 loại sau :

- *Momen cản loại máy tiện*, có quan hệ tỷ lệ nghịch với tốc độ :

$$M_c = M_{co} + M_{dm}.\frac{\omega_{dm}}{\omega} \approx \frac{M_{dm}.\omega_{dm}}{\omega} \qquad (1-5)$$

Trong đó : $M_{co}$ – momen cản khi tốc độ $\omega = 0$.

$M_{dm}$, $\omega_{dm}$ - momen và tốc độ định mức.

Đặc điểm của loại này là tốc độ làm việc càng thấp thì momen cản (lực cản) càng lớn. Đó chính là đặc điểm gia công cắt gọt kim loại trên máy tiện và một số máy công cụ.

- *Momen cản loại cần trục* có giá trị không đổi, không phụ thuộc tốc độ làm việc, ví dụ momen cản do tải trọng gây ra như đã xét trong tiết 1-2 :

$$M_c = M_{dm} = const \qquad (1-6)$$

- *Momen cản loại ma sát nhớt* tỷ lệ bậc nhất đối với tốc độ làm việc :

$$M_c = M_{co} + M_{dm}.\frac{\omega}{\omega_{dm}} \approx \frac{M_{dm}}{\omega_{dm}}.\omega \qquad (1-7)$$

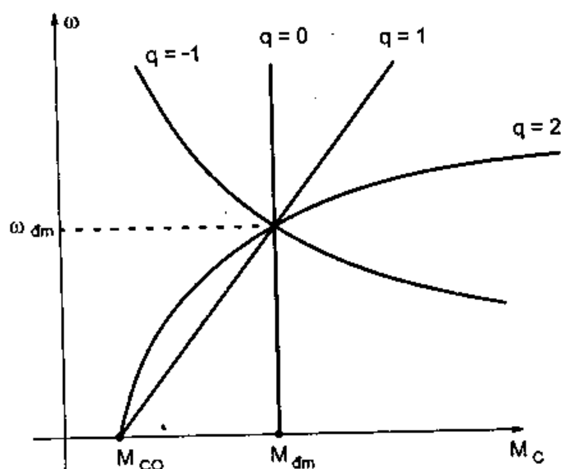
Đây là momen cản do lực ma sát nhớt gây ra, hoặc momen cản do máy phát điện gây ra trên trục động cơ sơ cấp.

- *Momen cản loại quạt gió:* tỷ lệ với bình phương của tốc độ làm việc :

$$M_c = M_{co} + M_{dm}.\left(\frac{\omega}{\omega_{dm}}\right)^2 \approx M_{dm}.\left(\frac{\omega}{\omega_{dm}}\right)^2 \quad (1-8)$$

Đây là momen cản của quạt gió, máy bơm nước và các máy có cơ cấu công tác dạng cánh quạt, chân vịt ...

Các biểu thức (1-5), (1-6), (1-7), (1-8) được gọi là các phương trình đặc tính cơ của máy sản xuất .




***Hình 1 - 8.** Đặc tính cơ của máy sản xuất :*
*q = 1 - Đặc tính cơ (loại momen cản) máy tiện*
*q = 0 - loại cần trục ;*
*q = 1 - loại ma sát nhớt*
*q = 2 - loại quạt gió*

Thường người ta biểu diễn tổng quát cả bốn dạng nêu trên bằng một phương trình chung:

$$M_c = M_{co} + M_{dm}.\left(\frac{\omega}{\omega_{dm}}\right)^q \qquad (1-9)$$

Trong đó, q = -1; 0; 1; 2 – số mũ, tương ứng với các loại momen cản máy tiện, cần trục, ma sát nhớt, quạt gió.

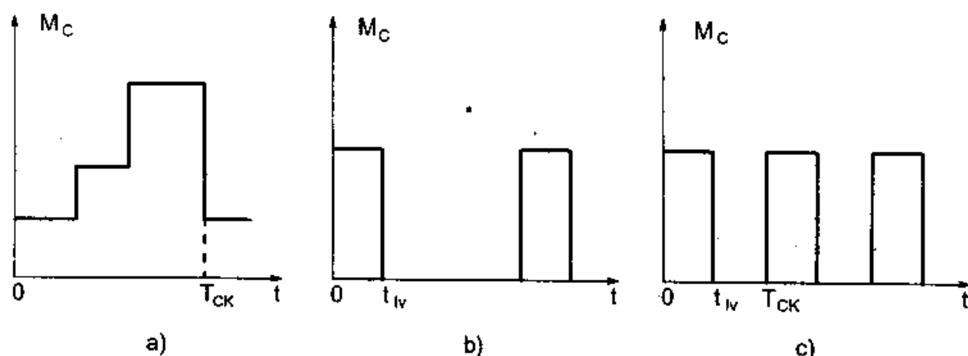
Dạng các đặc tính cơ theo (1-5) ÷(1-9) được biểu diễn trên hình 1-8.

Cách phân loại này được ứng dụng kết hợp với đặc tính cơ của động cơ điện trong các phép tính toán về điều chỉnh và điều khiển hệ thống.

***c) Phân loại momen cản theo thời gian tác dụng - Đồ thị phụ tải***

Người ta còn phân loại momen cản theo hàm số phụ thuộc thời gian $M_c$ = f(t), còn gọi là "đồ thị phụ tải". Theo đó ta phân momen cản (hoặc phụ tải của động cơ) thành ba loại chính : phụ tải dài hạn (hình 1-9a), phụ tải ngắn hạn (hình 1-9b), và phụ tải ngắn hạn lặp lại (hình 1-9c). Trong từng loại, ở mỗi chu kỳ làm việc ($T_{CK}$) giá trị $M_c$ có thể không đổi hoặc biến đổi.

Phương pháp phân loại này được sử dụng trong các bài toán chọn công suất động cơ và sẽ được đề cập đầy đủ trong chương VI.




*Hình 1 - 9. Đồ thị phụ tải (momen cản phụ thuộc thời gian)*
*a) Loại dài hạn; b) Loại ngắn hạn ; c) Loại ngắn hạn lặp lại.*

## 1.3. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG

Ta đã biết, đối với một vật rắn chuyển động thẳng, tổng các lực tác động lên vật bằng tích của khối lượng (quán tính) và gia tốc của nó:

$$\Sigma F_i = m.\ a \qquad (1-10)$$

Đối với hệ truyền động, sau khi quy đổi các đại lượng như đã nêu trong mục 1-2, phần cơ của hệ được đưa về dạng sơ đồ tính toán đơn khối như trên hình 1-5, tương tự như một vật rắn có chuyển động quay. Do đó, cũng tương tự như biểu thức (1-10), đối với hệ truyền động ta cũng có quan hệ sau : Tổng các momen tác động lên hệ sẽ bằng tích của momen quán tính và gia tốc góc của nó :

$$\Sigma M_i = J_t . \varepsilon \qquad (1 - 11)$$

Như ta đã biết, hệ truyền động có hai lượng momen tác động và thường ngược chiều nhau : momen động cơ M và momen cản $M_c$, do đó ta viết :

$$\Sigma M_i = M - M_c = M_{dg}$$

Tổng $(M - M_c)$ còn được gọi là momen động ($M_{dg}$), là đại lượng quyết định gia tốc của hệ. Gia tốc góc $\varepsilon$ được xác định bằng lượng biến thiên của tốc độ góc trong một đơn vị thời gian. Nếu lấy lượng biến thiên là vi phân của tốc độ $d\omega$ tương ứng với khoảng thời gian dt, ta có :

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$$

Thay $\Sigma M_i$ và $\varepsilon$ vào (1-11) ta được "phương trình chuyển động của hệ truyền động điện" :

$$M - M_c = J_t . \frac{d\omega}{dt} \qquad (1\text{-}12)$$

Trong một số trường hợp, có thể coi tốc độ biến thiên tuyến tính theo thời gian, gia tốc $\varepsilon$ có thể xác định theo lượng sai phân của tốc độ $\Delta\omega$ trong khoảng thời gian tương ứng $\Delta t$, còn momen động $M_{dg}$ cũng có thể lấy theo giá trị trung bình : $M_{dg.tb}$, ta có :

$$M - M_c = J_t . \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad ; \quad M_{dg.tb} = J_t . \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Các phương trình trên được viết cho trường hợp đơn giản nhất khi coi hệ truyền động có phần cơ đơn khối và momen quán tính tổng là hằng số ($J_t$ = const).

Khi sử dụng phương trình (1-12) cần chú ý cách lấy dấu của các đại lượng như sau :

- Trước hết lấy chiều của tốc độ $\omega$ làm chuẩn (ví dụ coi là chiều dương)

- Dấu của momen động cơ :

M> 0 nếu cùng chiều $\omega$ ;

M< 0 nếu ngược chiều $\omega$.

- Dấu của momen cản :

$M_c > 0$ nếu ngược chiều ω

$M_c < 0$ nếu cùng chiều ω

Chú ý : Dấu "–" trong vế trái của (1-12) được giữ nguyên vì coi đó là dấu của phương trình.

Từ phương trình chuyển động (1-12) ta thấy nếu lấy chiều của ω làm chuẩn dương :

- Khi $M > M_c$ hoặc $M_{dg} > 0$ thì $d\omega/dt > 0$, hệ tăng tốc, ví dụ khi khởi động hệ thống.

- Khi $M < M_c$ hoặc $M_{dg} < 0$ thì $d\omega/dt < 0$, hệ giảm tốc, ví dụ khi hãm dừng hệ thống.

- Khi $M = M_c$ hoặc $M_{dg} = 0$ thì $d\omega/dt = 0$, hệ làm việc xác lập với tốc độ ổn định ω = const.

Phương trình chuyển động giúp ta xác định được các trạng thái xác lập của hệ, cũng như giải được các bài toán về quá trình quá độ, và được coi là một quan hệ cơ bản của truyền động điện.

## 1.4. KHÁI NIỆM VỀ ĐẶC TÍNH CƠ VÀ CÁC TRẠNG THÁI LÀM VIỆC CỦA HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Trong phương trình chuyển động (1-12), nếu biết giá trị của M và $M_c$ ta có thể đánh giá được trạng thái làm việc của hệ và xác định các đại lượng liên quan khác. Cần nhớ rằng, trường hợp chung nhất M và $M_c$ đều là những hàm số phụ thuộc tốc độ. Các quan hệ $M = f(\omega)$ và $M_c = f(\omega)$ được gọi là đặc tính cơ.

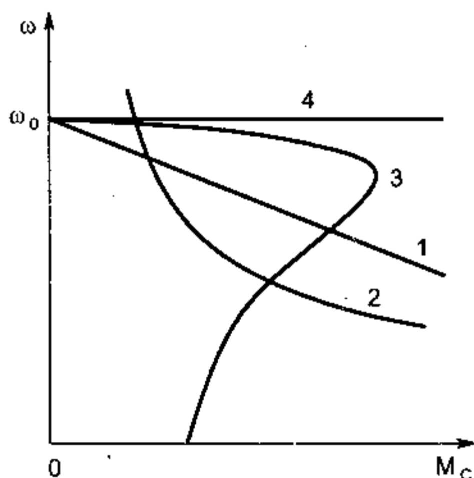
### 1.4.1. Đặc tính cơ của máy sản xuất

Như đã trình bày trong mục 1-2, quan hệ $M_c = f(\omega)$ được gọi là đặc tính cơ của máy sản xuất, có các dạng điển hình như trên hình 1-8. Dạng của đặc tính này được đánh giá nhờ số mũ q trong phương trình (1 - 9), hoặc nhờ đại lượng "độ cứng đặc tính cơ" $\beta_c$ :

$$\beta_c = dM_c/d\omega \qquad (1\text{-}13)$$

### 1.4.2. Đặc tính cơ của động cơ điện

Quan hệ giữa momen và tốc độ của động cơ $M = f(\omega)$ được gọi là đặc tính cơ của động cơ điện. Hình 1-10 trình bày dạng đặc tính cơ của một số động cơ điện thường gặp.




*Hình 1 - 10. Đặc tính cơ của các động cơ điện*

*1 - Động cơ điện một chiều kích từ độc lập*
*2- Động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp*
*3 - Động cơ không đồng bộ*
*4 - Động cơ đồng bộ*

Thường thường người ta phân biệt hai loại đặc tính cơ :

- *Đặc tính cơ tự nhiên* là đặc tính có được khi động cơ nối theo sơ đồ bình thường, không sử dụng thêm thiết bị phụ trợ và các thông số nguồn là định mức. Như vậy mỗi động cơ chỉ có một đường đặc tính cơ tự nhiên.

- *Đặc tính cơ nhân tạo* hay *đặc tính cơ điều chỉnh* là đặc tính cơ nhận được khi thay đổi một thông số nào đó của nguồn, hoặc nối thêm thiết bị phụ trợ vào mạch hoặc sử dụng các sơ đồ đặc biệt. Mỗi động cơ có thể có rất nhiều đặc tính cơ nhân tạo.

### 1.4.3. Độ cứng của đặc tính cơ

Để đánh giá mức độ phụ thuộc giữa tốc độ và momen động cơ, nghĩa là để đánh giá dạng đặc tính, người ta sử dụng đại lượng "độ cứng đặc tính cơ" viết ở dạng có đơn vị đo $\beta$ hoặc dạng đơn vị tương đối $\beta^*$

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta\omega} \quad ; \quad \beta^* = \frac{dM^*}{d\omega^*} \qquad (1\text{-}14)$$

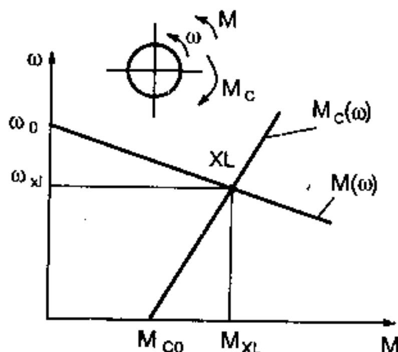
Trong đó : dM và dω là lượng biến thiên rất nhỏ (vi phân) của momen và tốc độ tương ứng ; ΔM và Δω - lượng sai phân của momen và tốc độ tương ứng ; $M^* = M/M_{dm}$ ; $\omega^* = \omega/\omega_{dm}$ hoặc $\omega^* = \omega/\omega_0$ – Giá trị tương đối của momen và tốc độ, tính theo giá trị định mức ($M_{dm}$, $\omega_{dm}$) hoặc theo một giá trị chuẩn quy ước như tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$.

Đặc tính cơ của các động cơ một chiều và phần làm việc trên đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ đều có $\beta < 0$. Giá trị tuyệt đối $|\beta|$ càng lớn thì đặc tính càng cứng và ngược lại : $|\beta|$ nhỏ, đặc tính mềm. Động cơ đồng bộ có đặc tính cứng tuyệt đối với $|\beta| = \infty$.

### 1.4.4. Các trạng thái làm việc của động cơ

Sử dụng các quan hệ đặc tính cơ $M(\omega)$ và $M_c(\omega)$, theo phương trình chuyển động (1-12) ta sẽ xác định được điểm làm việc xác lập khi $M(\omega) = M_c(\omega)$. Trên mặt phẳng đặc tính cơ [M, ω] , đó là điểm giao nhau của hai đường đặc tính, ở đó hệ sẽ làm việc với tốc độ ổn định (xác lập) là $\omega_{xl}$ và momen của động cơ bằng momen cản và có giá trị là $M_{xl}$ (hình 1-11).

Chú ý rằng, hình 1-11 minh hoạ cho trường hợp tương ứng trên hình 1-6, khi động cơ cấp năng lượng vào hệ, nghĩa là momen động cơ M tác động cùng chiều tốc độ ω, còn cơ cấu công tác của máy sản xuất tiêu thụ năng lượng, nghĩa là $M_c$ ngược chiều với ω.



*Hình 1 - 11. Điểm làm việc ở trạng thái xác lập*

Nếu quy ước cho ω có chiều dương thì trong trường hợp này M và $M_c$ đều được biểu thị phía trục M > 0, do đó điểm xác lập nằm ở góc phần tư thứ nhất của mặt phẳng [M, ω]. Ta nói trường hợp này động cơ làm việc xác lập ở "trạng thái động cơ".

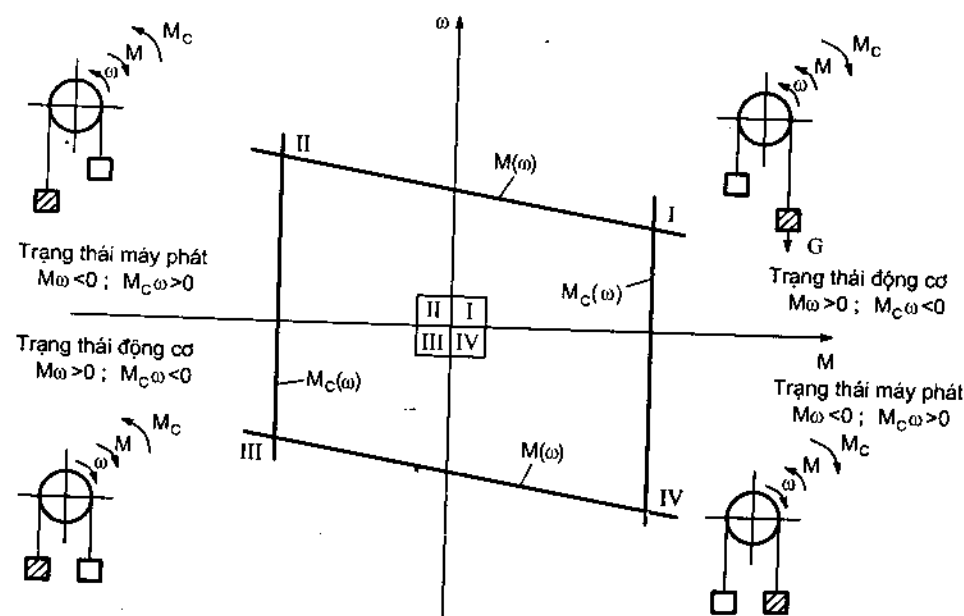
Cần phân biệt hai trạng thái làm việc cơ bản của động cơ : Trạng thái động cơ và trạng thái máy phát (còn gọi là trạng thái hãm). Hai trạng thái đó khác nhau về hướng truyền năng lượng trong hệ và chiều tác động của momen động cơ so với chiều chuyển động.

***a) Ở trạng thái động cơ :*** năng lượng được truyền từ động cơ đến máy sản xuất và được tiêu thụ tại cơ cấu công tác của máy. Trường hợp này công suất điện đưa vào động cơ $P_{điện} > 0$, công suất cơ do động cơ sinh ra $P_{cơ} = M.\omega > 0$, momen của động cơ cùng chiều với tốc độ. Với điều kiện đó, trạng thái động cơ sẽ tương ứng với các điểm nằm trong góc phần tư thứ nhất và góc phần tư thứ ba của mặt phẳng [M, ω] (xem hình 1-12). Chú ý rằng trạng thái này, cơ cấu công tác của máy sản xuất thu nhận cơ năng, nghĩa là $P_c = M_c.\ \omega < 0$, momen cản $M_c$ có chiều ngược với chiều tốc độ.

***b) Ở trạng thái máy phát :*** năng lượng truyền từ phía máy sản xuất về động cơ. Khi hệ truyền động làm việc, trong một điều kiện nào đó cơ cấu công tác của máy sản xuất có thể tạo ra cơ năng do động năng hoặc thế năng tích luỹ trong hệ đủ lớn, cơ năng đó được truyền về trục động cơ, động cơ tiếp nhận năng lượng này và làm việc như một máy phát điện. Ngược với trường hợp trên, công suất cơ của động cơ sẽ là $P_{cơ} < 0$, nghĩa là $M.\omega < 0$, momen động cơ ngược chiều với tốc độ; còn công suất do máy sản xuất tạo ra sẽ là $P_c = M_c\omega > 0$,

nghĩa là momen cản tác động cùng chiều tốc độ. Trạng thái làm việc này được gọi là trạng thái máy phát và tương ứng với các điểm làm việc nằm trong góc phần tư thứ hai và thứ tư của mặt phẳng [M, ω] (hình 1-12).

Vì ở trạng thái này, momen động cơ chống lại chiều chuyển động, nên động cơ có tác dụng như một bộ hãm, và vì vậy trạng thái máy phát còn có tên gọi là "trạng thái hãm".




*Hình 1 - 12. Biểu diễn các trạng thái làm việc trên mặt phẳng [M, ω]*

### 1.4.5. Khái niệm về độ ổn định tĩnh

Để cho hệ truyền động có thể làm việc ổn định, nghĩa là hệ có khả năng tự tìm kiếm điểm làm việc xác lập khi xảy ra những biến động nào đó, thì dạng của đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất phải thoả mãn điều kiện :

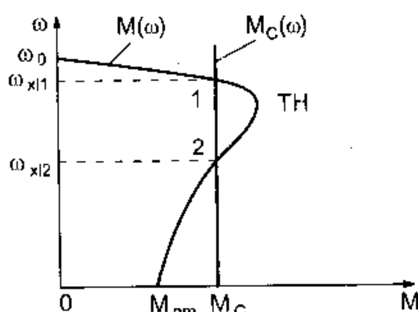
$$\beta < \beta_c \qquad (1\text{-}15)$$

Để giải thích điều kiện này ta lấy ví dụ một hệ có động cơ không đồng bộ kéo tải cần trục. Đặc tính cơ của động cơ và của máy sản xuất được biểu diễn trên hình 1-13. Đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ có hai đoạn : Đoạn công tác (từ điểm $\omega_0$ đến điểm tới hạn TH) có $\beta < 0$ và đoạn khởi động, từ điểm $M_{nm}$ đến TH có $\beta > 0$. Đặc tính cơ của cần trục có dạng $M_c$ = const, tức $\beta_c = 0$. Trên hình vẽ hình thành 2 điểm xác lập, đều có $M = M_c$ :

Điểm 1, thoả mãn điều kiện (1-15) – là điểm làm việc xác lập ổn định, điểm 2 ứng với $\beta > \beta_c$ là điểm không ổn định.

Thật vậy, tại điểm 1, nếu vì lý do nào đó mà tốc độ tăng lên $\omega > \omega_{xl1}$, thì tương ứng $M < M_c$, nên theo phương trình chuyển động (1-12) $d\omega/dt < 0$ và hệ thống sẽ giảm tốc để trở về giá trị $\omega_{xl1}$. Tương tự, nếu vì lý do nào đó mà tốc độ giảm xuống $\omega < \omega_{xl1}$ thì $M > M_c$, hệ thống sẽ có $d\omega/dt > 0$ và tự tăng tốc để trở về trạng thái xác lập. Ta nói : điểm 1 là điểm xác lập ổn định.

Ngược lại, khi hệ thống làm việc xác lập tại điểm 2, nếu vì lý do nào đó tốc độ tăng lên $\omega > \omega_{xl2}$ thì $M > M_c$ và hệ sẽ tiếp tục tăng tốc. Còn khi tốc độ giảm $\omega < \omega_{xl2}$ thì $M < M_c$ và hệ sẽ tiếp tục giảm tốc. Như vậy, điểm 2 là điểm xác lập không ổn định.




*Hình 1 - 13. Điểm làm việc ổn định (1) và không ổn dinh (2)*

Chính vì điều kiện (1-15), và vì đa số các máy sản xuất có $\beta_c \geq 0$ nên người ta thiết kế chế tạo các động cơ có đặc tính cơ với $\beta < 0$. Đối với các hệ truyền động tự động, ta có thể làm tăng modul độ cứng $\beta$ nhưng chú ý không tạo ra các hệ có $\beta > 0$, vì nếu như vậy thì hệ sẽ không đảm bảo điều kiện làm việc ổn định tĩnh.

Chú ý, trong phân tích và tính toán thường người ta quan tâm đến giá trị tuyệt đối của độ cứng, mà ít quan tâm đến dấu của nó, vì vậy ở các chương sau ta thường dùng kí hiệu $\beta$ thay cho $|\beta|$ để cách viết các biểu thức được đơn giản.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Chức năng nhiệm vụ của hệ truyền động điện là gì ?

2. Hệ truyền động gồm những khâu và những phần tử nào ? Lấy ví dụ minh hoạ ở một máy sản xuất mà anh (chị) đã biết.

3. Momen quán tính là gì ? Đơn vị đo lường của nó ? Công thức tính qui đổi momen quán tính từ tốc độ góc $\omega_i$ nào đó về tốc độ của trục động cơ $\omega$ ?

4. Momen cản được hình thành từ đâu ? Đơn vị tính của nó? Công thức qui đổi momen cản từ trục của cơ cấu công tác về trục động cơ ?

5. Thế nào là momen cản thế năng ? Đặc điểm của nó thể hiện trên đồ thị theo tốc độ ? Lấy ví dụ một cơ cấu có momen cản thế năng.

6. Thế nào là momen cản phản kháng ? Lấy ví dụ cơ cấu có momen cản phản kháng.

7. Định nghĩa đặc tính cơ của máy sản xuất. Phương trình tổng quát của nó, giải thích các đại lượng trong phương trình.

8. Hãy vẽ dạng đặc tính cơ của các máy sản xuất sau : máy tiện; cần trục; máy có ma sát nhớt, quạt gió.

9. Viết phương trình chuyển động cho hệ truyền động có phần cơ dạng mẫu đơn khối, giải thích các đại lượng trong phương trình; giải thích dấu của các đại lượng M và $M_c$.

10. Phương trình chuyển động cho ta biết những thông tin gì về trạng thái làm việc của một hệ thống truyền động?.

11. Định nghĩa đặc tính cơ của động cơ điện.

12. Định nghĩa độ cứng của đặc tính cơ.

13. Phân biệt trạng thái động cơ và trạng thái hãm của động cơ điện bằng những dấu hiệu nào? Lấy ví dụ thực tế về trạng thái hãm của động cơ trên một cơ cấu công tác mà anh (chị ) đã biết.

## *Chương II*

# ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN

## 2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Chương I đã cho ta thấy đặc tính cơ, bao gồm của máy sản xuất và của động cơ điện, là một công cụ quan trọng trong việc phân tích, tính toán các hệ truyền động điện. Khi đặt hai đường đặc tính cơ $M(\omega)$và $M_c(\omega)$ lên cùng một hệ toạ độ, ta có thể xác định được trạng thái làm việc của động cơ và của hệ (xem hình 1-11; 1-12) : trạng thái xác lập (khi $M = M_c$- điểm giao nhau của 2 đường đặc tính), hoặc trạng thái quá độ (khi $M \neq M_c$ tại những vùng $\omega \neq \omega_{xl}$ ), trạng thái động cơ (góc phần tư thứ nhất và thứ ba) hoặc trạng thái hãm (góc phần tư thứ hai và thứ bốn).

Khi phân tích các hệ truyền động, ta thường coi máy sản xuất đã cho trước, nghĩa là coi như biết trước đặc tính cơ $M_c(\omega)$ của nó. Vậy, muốn tìm kiếm một trạng thái làm việc với những thông số yêu cầu như tốc độ, momen, dòng điện động cơ... ta phải tạo ra những đặc tính cơ của động cơ tương ứng. Chương II giúp ta nắm vững việc lập các phương trình đặc tính cơ của động cơ, các phương pháp tạo ra các đặc tính cơ nhân tạo để sử dụng động cơ phù hợp với máy sản xuất đã cho và điều khiển động cơ để có được các trạng thái làm việc theo yêu cầu của công nghệ .

Mỗi động cơ có một đặc tính cơ tự nhiên xác định bởi các số liệu định mức của nó. Nhiều trường hợp ta coi đặc tính này như loạt số liệu cho trước. Mặt khác, nó có thể có vô số các đường đặc tính cơ nhân tạo, nhận được nhờ sự biến đổi của một hoặc vài thông số của nguồn, của mạch điện động cơ, hoặc do dùng thêm thiết bị phụ, hoặc do thay đổi cách nối dây của mạch. Nói một cách tổng quát, các đặc tính cơ nhân tạo được tạo ra bằng cách làm biến dạng đường đặc tính cơ tự nhiên. Do đó bất kỳ thông số nào có ảnh hưởng đến hình dáng và vị trí của đặc tính cơ, đều được coi là thông số điều khiển động cơ, và tương ứng là một phương pháp tạo đặc tính cơ nhân tạo.

Phương trình đặc tính cơ của động cơ điện có thể viết ở dạng thuận hay dạng ngược $M = f(\omega)$ hoặc $\omega = f(M)$, biểu thị theo hệ đơn vị có tên (M-Nm ; ω - rad/s) hoặc hệ đơn vị tương đối ($M^*$, $\omega^*$). Đại lượng quan trọng để đánh giá dạng của đặc tính cơ là độ cứng $\beta$ hoặc $\beta^*$.

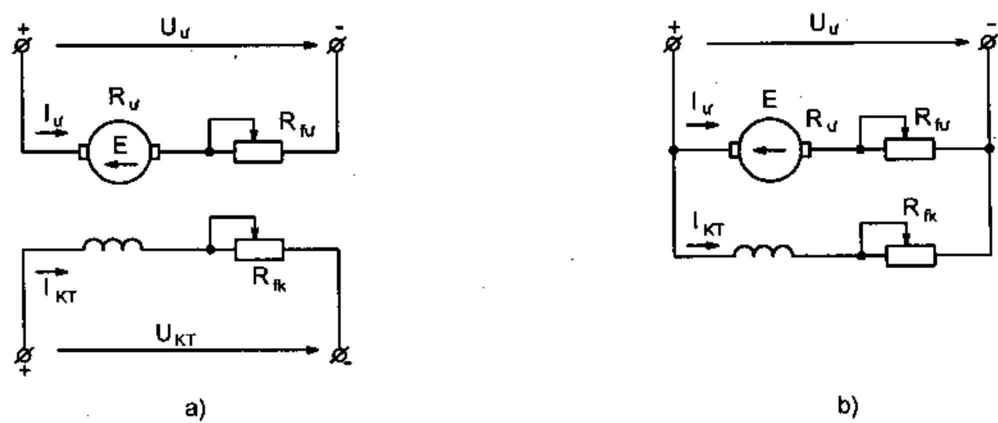
Theo trình tự, ta sẽ khảo sát đặc tính của từng loại động cơ, gồm đặc tính tự nhiên, đặc tính ở trạng thái động cơ và các trạng thái hãm, các đặc tính nhân tạo, cách vẽ các đặc tính cơ.

## 2.2. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ ĐỘC LẬP (KÍCH TỪ SONG SONG)

### 2.2.1. Sơ đồ nối dây của động cơ một chiều kích từ độc lập và kích từ song song

Đặc điểm của động cơ kích từ độc lập là dòng điện kích từ và từ thông động cơ không phụ thuộc dòng điện phần ứng. Sơ đồ nối dây của nó như trên hình 2-1a với nguồn điện mạch kích từ $U_{KT}$ riêng biệt so với nguồn điện mạch phần ứng $U_ư$.

Khi nguồn điện một chiều có công suất vô cùng lớn, điện trở trong của nguồn coi như bằng không thì điện áp nguồn sẽ là không đổi, không phụ thuộc dòng điện chạy trong phần ứng động cơ. Khi đó, động cơ kích từ song song (hình 2-1b) cũng được coi như kích từ độc lập. Vì vậy, ở đây ta coi hai loại động cơ này như nhau.




*Hình 2 - 1. a) Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ độc lập ;*
*b) Sơ đồ nối dây của động cơ kích từ song song.*

### 2.2.2. Phương trình đặc tính cơ

*a) Các phương trình chính*

Theo sơ đồ mạch điện hình 2-1, ta có phương trình cân bằng điện áp như sau :

$$U_ư = E + (R_ư + R_{fư})\, I_ư \qquad (2\text{-}1)$$

Trong đó : $U_ư$ - điện áp nguồn đặt vào phần ứng, V;

$R_ư = r_ư + r_{cf} + r_{cb} + r_{ct}$ - điện trở mạch phần ứng động cơ, Ω, bao gồm điện trở cuộn dây phần ứng $r_ư$, điện trở cực từ phụ $r_{cf}$, điện trở cuộn bù (nếu có) $r_{cb}$, điện trở tiếp xúc của chổi than trên cổ góp $r_{ct}$;

$R_{fư}$ - điện trở phụ trong mạch phần ứng, Ω ;

$I_ư$ - dòng điện mạch phần ứng, A ;

E - Sức phản điện động của phần ứng động cơ, V; nó tỷ lệ với từ thông Φ và tốc độ quay của động cơ ω theo biểu thức:

$$E = K\Phi\omega \qquad (2\text{-}2)$$

Trong đó : K – hệ số tỷ lệ phụ thuộc cấu tạo của động cơ

$$K = \frac{pN}{2\pi a} \qquad (2\text{-}3)$$

Với : p – số đôi cực từ chính ;

N – số thanh dẫn tác dụng của cuộn dây phần ứng;

a – số mạch nhánh đấu song song của cuộn dây phần ứng.

Thay (2-2) vào (2-1) ta được :

$$\omega = \frac{U_ư}{K\Phi} - \frac{R_ư + R_{fư}}{K\Phi} I_ư \qquad (2\text{-}4)$$

Biểu thức (2-4) là "*phương trình đặc tính cơ điện*" của động cơ ; nó biểu thị mối quan hệ giữa đại lượng cơ học ω và đại lượng điện $I_ư$ của động cơ.

Mặt khác, momen điện từ của động cơ tỷ lệ với từ thông Φ và dòng điện phần ứng $I_ư$ :

$$M = K\Phi\, I_ư \qquad (2\text{-}5)$$

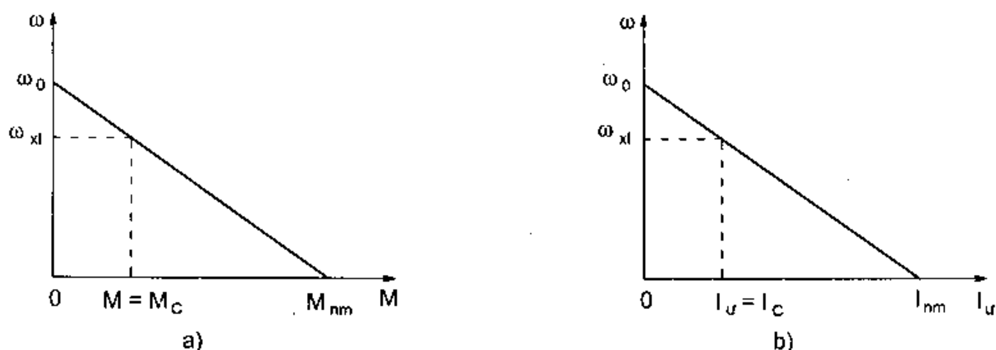
Rút $I_ư$ từ (2-5) thay vào (2-4) ta được :

$$\omega = \frac{U_ư}{K\Phi} - \frac{R_ư + R_{fư}}{(K\Phi)^2} M \qquad (2\text{-}6)$$

Chú ý : nếu bỏ qua các tổn thất trong động cơ, gồm tổn thất ma sát trong ổ trục, tổn thất cơ do tự quạt mát, tổn thất thép, thì momen điện từ và momen cơ trên trục được coi bằng nhau : $M = M_{cơ}$. Khi đó biểu thức (2-6) biểu thị quan hệ giữa hai đại lượng cơ học M và ω của động cơ, và được gọi là "*phương trình đặc tính cơ*".

***b) Đường đặc tính cơ và đặc tính cơ điện***

Nếu bỏ qua ảnh hưởng của phản ứng phần ứng, từ thông động cơ sẽ không đổi Φ =const , khi đó các phương trình (2-6) và (2-4) đều là tuyến tính. Đồ thị của chúng, tức *đường đặc tính cơ* và *đặc tính cơ điện*, được biểu thị trên hình 2-2 là những đường thẳng.




***Hình 2 - 2.*** *a) Đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ độc lập ;*
*b) Đặc tính cơ điện của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.*

Ở các đồ thị trên, khi M = 0 hoặc $I_ư = 0$, nghĩa là khi động cơ hoàn toàn không tải, ta có:

$$\omega = \frac{U_ư}{K\Phi} = \omega_0 \qquad (2\text{-}7)$$

*$\omega_0$ gọi là tốc độ không tải lý tưởng.*

Khi ω = 0, ta có : $$I_ư = \frac{U_ư}{R_ư + R_{fư}} = I_{nm} \qquad (2\text{-}8)$$

và $$M = \frac{U_ư}{R_ư + R_{fư}}.K\Phi = I_{nm}.K\Phi = M_{nm} \qquad (2\text{-}9)$$

*$I_{nm}$ và $M_{nm}$ lần lượt được gọi là dòng điện ngắn mạch (phần ứng) và momen ngắn mạch .*

Từ (2-6) ta xác định được độ cứng của đặc tính cơ :

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} = -\frac{(K\Phi)^2}{R_ư + R_{fư}} \qquad (2\text{-}10)$$

*c) Các dạng khác của phương trình đặc tính cơ*

Phương trình (2-6) là phương trình đặc tính cơ thông dụng nhất. Ngoài ra, ta cũng có thể biểu diễn phương trình đặc tính cơ dưới một số dạng khác như sau :

- Thành phần thứ hai ở vế phải của (2-6) là độ sụt tốc ứng với momen M so với khi động cơ không tải lí tưởng. Đặt ký hiệu độ sụt tốc.

$$\Delta\omega = \frac{R_{ư} + R_{fư}}{(K\Phi)^2}M = \frac{R_{ư} + R_{fư}}{K\Phi}I_{ư} \qquad (2\text{-}11)$$

Ta có phương trình dạng : $\omega = \omega_0 - \Delta\omega$ (2-12)

- Thay (2-10) vào (2-6) ta được dạng phương trình viết theo độ cứng :

$$\omega = \omega_0 - \frac{1}{\beta}.M \qquad (2\text{-}13)$$

Trong đó, β là modul độ cứng (không lấy dấu âm trong biểu thức (2-10) của nó).

- Từ (2-6) ta biến đổi để biểu thị M theo ω, ta được phương trình dạng hàm ngược.

$$M = K\Phi.\frac{U_{ư}}{R_{ư} + R_{fư}} - \frac{(K\Phi)^2}{R_{ư} + R_{fư}}.\omega = M_{nm} - \beta\omega \qquad (2\text{-}14)$$

- Nếu sử dụng đơn vị tương đối, thì từ (2-4) và (2-6) ta có :

$$\omega^* = \frac{U_{ư}^*}{\Phi^*} - \frac{R_{ư}^* + R_{fư}^*}{\Phi^*}.I_{ư}^* \qquad (2\text{-}15)$$

$$\omega^* = \frac{U_{ư}^*}{\Phi^*} - \frac{R_{ư}^* + R_{fư}^*}{\Phi^*}.M^* \qquad (2\text{-}16)$$

Trong đó, các đại lượng biểu thị theo đơn vị tương đối là : $\omega^* = \omega/\omega_0$ ; $U_{ư}^* = U_{ư}/U_{đm}$ ; $\Phi^* = \Phi/\Phi_{đm} = K\Phi/K\Phi_{đm}$ ; $I_{ư}^* = I_{ư}/I_{đm}$ ; $M^* = M/M_{đm}$ ; $R_{ư}^* = R_{ư}/R_{đm}$ ; $R_{fư}^* = R_{fư}/R_{đm}$.

Chú ý, đại lượng "*điện trở định mức*" của động cơ $R_{đm}$ dùng để biểu thị điện trở theo đơn vị tương đối chỉ là một đại lượng quy ước giả tưởng.

$$R_{đm} = \frac{U_{đm}}{I_{đm}} \qquad (2\text{-}17)$$

Tuỳ theo mục tiêu phân tích, ta có thể sử dụng dạng này hoặc dạng khác của phương trình đặc tính cơ sao cho thuận tiện nhất.

Cần hiểu rằng, các phương trình đã nêu trên đều được viết ở trạng thái tĩnh, chưa xét đến các quá trình quá độ. Vì vậy các đặc tính trên hình 2-2 gọi là "*đặc*

*tính cơ tĩnh*" và "*đặc tính cơ điện tĩnh*". Nó là quỹ tích các điểm làm việc xác lập của động cơ, nghĩa là nếu đặt giá trị momen của động cơ bằng momen cản $M = M_c$ lên trục M, thì ta sẽ có giá trị tốc độ xác lập của động cơ $\omega_{xl}$ như trên hình 2-2a. Mặt khác, ứng với $M = M_c$ dòng điện trong phần ứng theo (2-5) sẽ là:

$$I_u = I_c = \frac{M_c}{K\Phi} \text{ - gọi là dòng điện tải ;}$$

Đặt $I_u = I_c$ lên trục hoành của đồ thị đặc tính cơ điện hình 2-2b ta cũng xác định được tốc độ xác lập $\omega_{xl}$ như trên.

### 2.2.3. Đặc tính tự nhiên

Theo định nghĩa (mục 1 - 4) đặc tính tự nhiên sẽ tương ứng với trường hợp $R_{fu} = 0$, $U_u = U_{dm}$, $\Phi = \Phi_{dm}$. Thay các số liệu đó vào (2-4), (2-6) và các phương trình dạng khác ta sẽ được phương trình đặc tính cơ và cơ điện tự nhiên :

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_u}{(K\Phi_{dm})^2} M \qquad (2\text{-}18)$$

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_u}{K\Phi_{dm}} I_u \qquad (2\text{-}19)$$

Tốc độ không tải lí tưởng và độ cứng đặc tính cơ tự nhiên là:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} \qquad (2\text{-}20)$$

$$\beta_{tn} = \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u} \qquad (2\text{-}21)$$

$$\beta^*_{tn} = \frac{1}{R^*_u} \qquad (2\text{-}22)$$

Ta có thể vẽ được đặc tính cơ và đặc tính cơ điện tự nhiên nhờ các số liệu của động cơ như công suất định mức $P_{dm}$ [kW], tốc độ $\omega_{dm}$ [rad/s], điện áp $U_{dm}$[V], dòng điện $I_{dm}$ [A], hiệu suất $\eta_{dm}$, điện trở phần ứng $R_u$ [Ω].

Vì đặc tính là đường thẳng, nên chỉ cần xác định hai điểm : *điểm không tải* [0, $\omega_0$] và *điểm định mức* [$M_{dm}$, $\omega_{dm}$] hoặc [$I_{dm}$, $\omega_{dm}$]. Cũng có thể dùng *điểm không tải* và *điểm ngắn mạch* [$M_{nm}$, 0] hoặc [$I_{nm}$, 0]. Toạ độ các điểm nêu trên được xác định như sau:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} \qquad \text{với } K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - R_u I_{dm}}{\omega_{dm}}$$

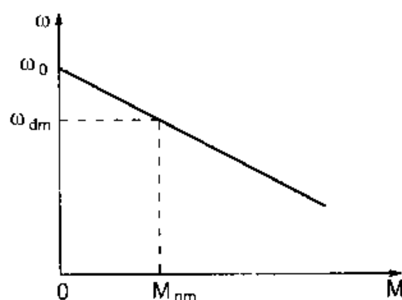
$$M_{dm} = \frac{P_{dm}.1000}{\omega_{dm}} \text{ (momen cơ)}$$

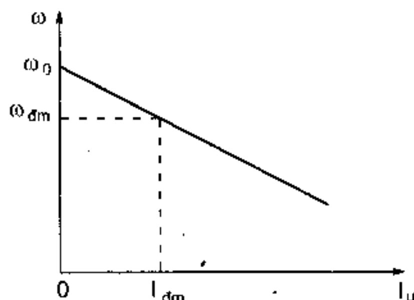
hoặc $$M_{dm} = K\Phi_{dm}.I_{dm} \text{ (momen điện từ)}$$

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_ư}$$

$$M_{nm} = K\Phi_{dm} \cdot \frac{U_{dm}}{R_ư}$$

Thường người ta vẽ các đặc tính tự nhiên qua điểm không tải và điểm định mức, ta được đồ thị hình 2-3.




***Hình 2 - 3.*** *a) Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ điện một chiều kích từ độc lập ;*
*b) Đặc tính cơ điện tự nhiên của động cơ điện một chiều kích từ độc lập.*

Có trường hợp phải tính $I_{dm}$ thông qua hiệu suất $\eta_{dm} = 1000\ P_{dm}/U_{dm}.I_{dm}$ :

$$I_{dm} = \frac{P_{dm}.1000}{\eta_{dm}.U_{dm}}, \text{ A} \qquad (2\text{-}23)$$

Nếu chưa cho trước giá trị $R_ư$, có thể xác định gần đúng dựa vào giả thiết coi tổn thất trên điện trở phần ứng do dòng điện định mức gây ra bằng một nửa toàn bộ tổn thất trong động cơ :

$$R_ư \approx 0.5.(1-\eta_{dm})\frac{U_{dm}}{I_{dm}}, \Omega \qquad (2\text{-}24)$$

Sau khi vẽ được đặc tính tự nhiên, thì chính nó lại trở thành loạt số liệu cho trước để tính toán các đặc tính nhân tạo cũng như để giải các bài toán khác.

## 2.2.4. Các đặc tính nhân tạo

Từ (2-4) và (2-6) ta thấy có thể tạo ra các đặc tính nhân tạo bằng cách thay đổi một trong ba thông số: điện trở mạch phần ứng $R_{ưt} = R_ư + R_{fư}$ ; điện áp phần ứng $U_ư$ và từ thông Φ. Tác động vào mỗi thông số ta sẽ được một họ đặc tính nhân tạo tương ứng.

*a) **Đặc tính nhân tạo "biến trở"*** (khi thay đổi điện trở mạch phần ứng)

Khi giữ không đổi điện áp $U_ư = U_{đm}$ = const và từ thông $\Phi = \Phi_{đm}$ = const, bằng cách nối thêm một biến trở $R_{fư}$ vào mạch phần ứng như sơ đồ hình 2-1, thì ta sẽ làm thay đổi được điện trở tổng của mạch này. Khi đó, ứng với mỗi giá trị của $R_{fư}$ ta được một đường đặc tính nhân tạo với các phương trình sau:

$$\omega = \frac{U_{đm}}{K\Phi_{đm}} - \frac{R_ư + R_{fư}}{K\Phi_{đm}}.I_ư \qquad (2\text{-}25)$$

$$\omega = \frac{U_{đm}}{K\Phi_{đm}} - \frac{R_ư + R_{fư}}{(K\Phi_{đm})^2}M \qquad (2\text{-}26)$$

Trong đó, tốc độ không tải lí tưởng được giữ không đổi (bằng tốc độ không tải lí tưởng của đặc tính tự nhiên)

$$\omega_0 = \omega_{0.tn} = \frac{U_{đm}}{K\Phi_{đm}} = \text{const} \qquad (2\text{-}27)$$

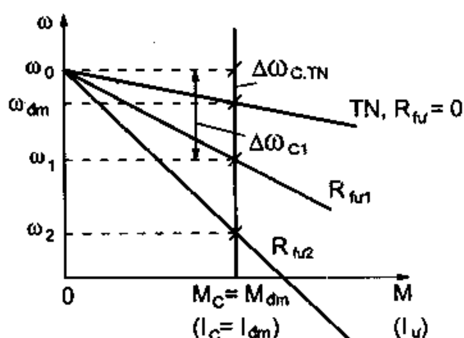
Độ sụt tốc ứng với một giá trị momen $M_c$ hoặc một giá trị dòng điện $I_ư = I_c$ nào đó sẽ lớn hơn sụt tốc của đặc tính tự nhiên, và tỷ lệ với điện trở tổng trong mạch phần ứng :

$$\Delta\omega_c = \frac{R_ư + R_{fư}}{(K\Phi_{đm})^2}M_c = \frac{R_ư + R_{fư}}{K\Phi_{đm}}.I_c \qquad (2\text{-}28)$$

Hoặc nói cách khác, độ cứng đặc tính nhân tạo biến trở tỷ lệ nghịch với điện trở tổng $R_{ưt}$:

$$\beta = \frac{(K\Phi_{đm})^2}{R_ư + R_{fư}} \qquad (2\text{-}29)$$

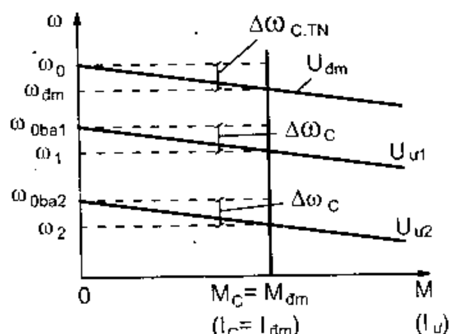
Như vậy, càng tăng $R_{fư}$ đặc tính nhân tạo càng mềm. Tất cả các đặc tính này đều thấp hơn đặc tính tự nhiên và đều đi qua điểm không tải lí tưởng [0, $\omega_0$]. Từ các nhận xét trên, ta thấy các đặc tính nhân tạo biến trở được tạo ra nhờ sự thay đổi độ cứng β (còn tốc độ không tải lí tưởng được giữ không đổi). Họ đặc tính cơ biến trở được vẽ trên hình 2-4.




*Hình 2 - 4. Họ đặc tính nhân tạo biến trở*

***b) Đặc tính nhân tạo khi thay đổi điện áp phần ứng***

Khi giữ từ thông không đổi $\Phi = \Phi_{dm}$= const và không nối thêm điện trở phụ trong mạch phần ứng ($R_{fư} = 0$, $R_{ưt} = R_ư$ = const), nếu làm thay đổi điện áp đặt vào phần ứng ($U_ư$ = var) ta sẽ được họ đặc tính nhân tạo khi biến đổi điện áp như trên hình 2-5. Đó là những đường song song và song song với đặc tính tự nhiên.




*Hình 2 - 5. Họ đặc tính nhân tạo khi thay đổi điện áp phần ứng*

Trong trường hợp này, tốc độ không tải lí tưởng tỷ lệ thuận với điện áp $U_ư$:

$$\omega_0 = \frac{U_ư}{K\Phi_{dm}} = \text{var} \quad (2\text{-}30)$$

và đều nhỏ hơn tốc độ không tải của đặc tính tự nhiên.

Độ sụt tốc trên các đặc tính nhân tạo so với khi không tải lí tưởng sẽ không phụ thuộc điện áp và bằng độ sụt tốc trên đặc tính tự nhiên.

$$\Delta\omega_c = \frac{R_ư}{K\Phi_{dm}} I_c = \frac{R_ư}{(K\Phi_{dm})^2} M_C = \Delta\omega_{C.TN} = \text{const} \qquad (2\text{-}31)$$

Tương tự, độ cứng của đặc tính nhân tạo biến áp không phụ thuộc điện áp $U_ư$:

$$\beta = \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_ư} = \beta_{tn} = \text{const} \qquad (2\text{-}32)$$

Hình 2-5 cho thấy mỗi đường đặc tính nhân tạo cho ta một giá trị dòng điện ngắn mạch và một tốc độ làm việc tương ứng. Ở đây các đặc tính nhân tạo được tạo ra bằng cách thay đổi tốc độ không tải lí tưởng (còn độ cứng đặc tính được giữ không đổi).

***c) Đặc tính nhân tạo khi thay đổi từ thông***

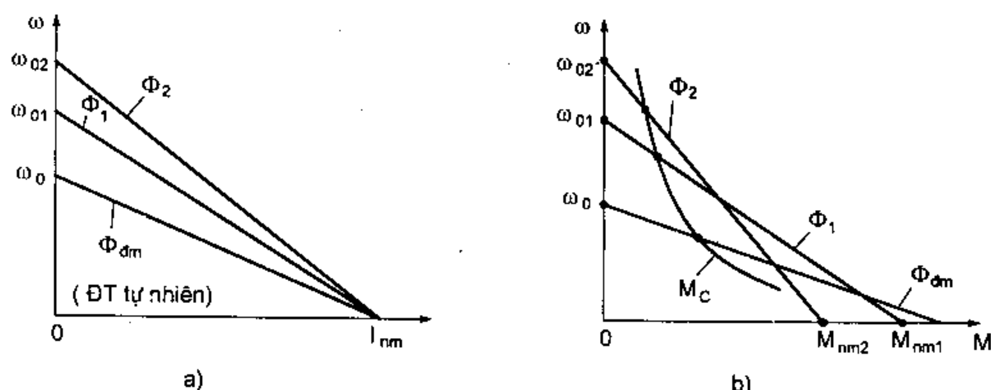
Nếu giữ điện áp phần ứng $U_ư = U_{dm}$ = const, không nối thêm điện trở phụ vào mạch phần ứng, tức giữ $R_{ưt} = R_ư$ = const, bằng cách thay đổi dòng kích từ ta sẽ làm thay đổi từ thông Φ và sẽ nhận được họ đặc tính nhân tạo tương ứng, (hình 2-6), trong đó:

- Tốc độ không tải lí tưởng tỷ lệ nghịch với từ thông :

$$\omega_{0t} = \frac{U_{dm}}{K\Phi} = \text{var} \qquad (2\text{-}33)$$

- Độ cứng của đặc tính cơ nhân tạo tỷ lệ với bình phương từ thông :

$$\beta_t = \frac{(K\Phi)^2}{R_u} = var \qquad (2\text{-}34)$$




*Hình 2 - 6. Họ đặc tính cơ điện (a) và đặc tính cơ(b) nhân tạo khi thay đổi từ thông* $\Phi_2 < \Phi_1 < \Phi_{dm}$

Cần phân biệt dạng của họ đặc tính cơ và đặc tính cơ điện khi thay đổi từ thông như trên hình 2-6a và 2-6b. Đối với đặc tính cơ điện, tất cả đều đi qua điểm ngắn mạch $[I_{nm}, 0]$

$$I_{nm} = \frac{U_{dm}}{R_u} = const \qquad (2\text{-}35)$$

Còn ở họ đặc tính cơ thì mỗi đường (ứng với mỗi giá trị Φ) có một giá trị $M_{nm}$ tương ứng :

$$M_{nm} = K\Phi.I_{nm} = var \qquad (2\text{-}36)$$

***Chú ý :*** Vì không thể tăng dòng kích từ lớn hơn giá trị định mức, nên chỉ có thể tạo ra các giá trị từ thông $\Phi < \Phi_{dm}$. Do đó các đặc tính nhân tạo cơ điện đều có vị trí cao hơn đặc tính tự nhiên ; tương tự, trong vùng phụ tải $M_c$ cho phép tốc độ trên các đặc tính cơ nhân tạo lớn hơn tốc độ trên đặc tính cơ tự nhiên.

Các biểu thức (2-33)và (2-34) cho thấy họ đặc tính nhân tạo này được tạo ra bằng cách làm thay đổi cả tốc độ không tải lí tưởng và độ cứng của đặc tính.

* ***Ví dụ 2-1:*** Dựng đặc tính cơ tự nhiên và nhận xét về dạng đặc tính của động cơ điện một chiều kích từ song song. Số liệu cho trước : Động cơ loại làm việc dài hạn, cấp điện áp 220V, công suất định mức 6,6kW ; tốc độ 2200vg/ph ; dòng điện định mức 35A ; điện trở mạch phần ứng gồm điện trở cuộn dây phần ứng và cực từ phụ : 0,26Ω.

*Giải :* Đặc tính cơ tự nhiên được vẽ qua 2 điểm: điểm định mức [$M_{dm}$, $\omega_{dm}$] và điểm không tải lí tưởng [$M = 0$ ; $\omega = \omega_0$]. Các toạ độ được xác định như sau:

Tốc độ góc định mức :

$$\omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55} = \frac{2200}{9,55} = 230,3 \quad \text{rad/s}$$

Momen (cơ) định mức:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}.1000}{\omega_{dm}} = \frac{6,6.1000}{230,3} = 28,6 \ \text{Nm}$$

Như vậy ta có điểm thứ nhất trên đường đặc tính cần tìm [28,6 ; 230,3].

Từ thông động cơ:

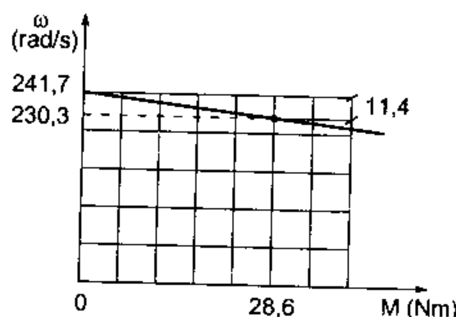
$$K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}.R_{ư}}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 35.0,26}{230,3} = 0,91 \ \text{Wb}$$

Tốc độ không tải lí tưởng:

$$\omega_0 = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} = \frac{220}{0,91} = 241,7 \ \text{rad/s.}$$

Ta được điểm thứ hai của đặc tính [0 ; 241,7], và dựng được đường đặc tính cơ tự nhiên trên hình 2-7.

Có thể đánh giá đường đặc tính tự nhiên của động cơ thông qua một số thông số sau:




***Hình 2 - 7.*** *Đặc tính cơ tự nhiên của động cơ trong ví dụ 2 - 1.*

- Độ sụt tốc khi có tải định mức (so với tốc độ không tải lí tưởng) :

$$\Delta\omega_c = \omega_0 - \omega_{dm} = 241,7 - 230,3 = 11,4 \ \text{rad/s.}$$

$$\Delta\omega_c\% = \frac{\Delta\omega_c}{\omega_0} 100\% = \frac{11,4}{241,7}.100\% = 4,7\%$$

Độ sụt tốc nằm trong giới hạn dưới 5%, đảm bảo độ chính xác duy trì tốc độ làm việc khi phụ tải biến thiên.

- Độ cứng đặc tính cơ tự nhiên có thể xác định theo biểu thức (2-21) hoặc xác định theo số liệu lấy trên đường đặc tính hình 2-7

$$|\beta| = \frac{dM}{d\omega} = \frac{\Delta M}{\Delta\omega} = \frac{0 - M_{dm}}{\omega_0 - \omega_{dm}} = \frac{M_{dm}}{\Delta\omega_C} = \frac{28,6}{11,4} = 2,5 \ \text{Nm.s} .$$

Theo đó, đặc tính này thuộc loại cứng.

*Chú ý:* Các số liệu tính toán được thực hiện theo công suất và momen cơ, tức dựa vào các số liệu catalo. Nếu tính toán theo momen điện từ thì kết quả có sai khác khoảng 10% so với các số liệu tính toán ở trên.

### 2.2.5. Các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ độc lập

Trên đây ta đã khảo sát các đặc tính tự nhiên và nhân tạo của động cơ một chiều kích từ độc lập ở trạng thái động cơ. Các đặc tính đó đều bố trí ở góc phần tư thứ nhất của mặt phẳng [M, ω] tương ứng với chiều quay thuận (ω>0) và momen tác động cùng chiều tốc độ (M>0). Cũng tương tự như vậy, nếu ta đổi cực tính điện áp phần ứng, nghĩa là có $U_ư<0$ và $\omega_0<0$, thì dòng điện, momen và tốc độ đều đổi chiều: ω<0; M<0. Khi đó, các đặc tính cơ ở trạng thái động cơ sẽ nằm ở góc phần tư thứ ba như đã giới thiệu trong chương I.

Để có cơ sở phân tích các trạng thái hãm, ta hãy lưu ý đến các quan hệ của một số đại lượng ở trạng thái động cơ.

Giả sử xét trường hợp động cơ làm việc ở chiều thuận:

- Điện áp phần ứng $U_ư>0$, tương ứng tốc độ không tải lí tưởng $\omega_0>0$;

- Tốc độ của động cơ ω>0, và có giá trị $\omega<\omega_0$ ;

- Sđđ của động cơ tỷ lệ với tốc độ và ngược chiều với điện áp $U_ư$ , nhưng có giá trị $E < U_ư$

- Dòng điện phần ứng có chiều trùng với chiều của $U_ư$ : $I_ư = (U_ư-E)/R_{ưt}$ ; $I_ư>0$.

- Momen động cơ tỷ lệ với $I_ư$, cùng chiếu tốc độ : M>0.

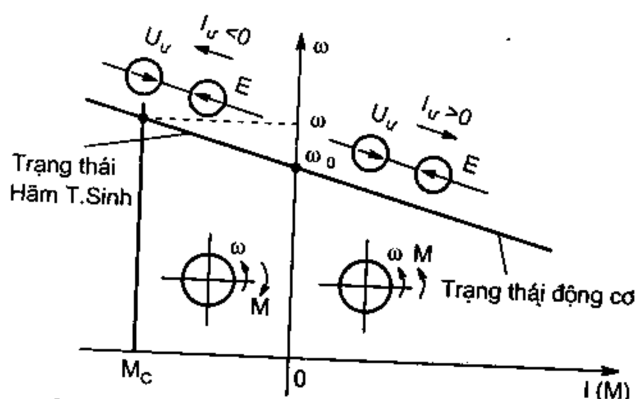
Các quan hệ đó được ghi trên góc phần tư thứ nhất của hình 2-8 để dễ so sánh với các quan hệ tương ứng ở các trạng thái hãm (ở góc phần tư thứ hai và thứ tư) của các hình vẽ 2-8, 2-9, 2-10.

Như đã trình bày ở mục 1-4, ngoài trạng thái động cơ nêu trên, động cơ điện còn có thể làm việc ở các trạng thái hãm trong những điều kiện nhất định. Khi đó năng lượng sẽ được truyền từ phía máy sản xuất về động cơ, còn động cơ sẽ làm việc như một máy phát điện để biến năng lượng đó (cơ năng) thành điện năng. Trong quá trình đó, động cơ sẽ sinh ra momen ngược chiều tốc độ, gây ra tác dụng hãm chuyển động của hệ.

Động cơ một chiều kích từ độc lập có ba trạng thái (hoặc gọi là ba phương pháp) hãm: hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng.

***a) Hãm tái sinh*** : hãm tái sinh xảy ra khi tốc độ động cơ lớn hơn tốc độ không tải lý tưởng: $\omega>\omega_0$, tương ứng sđđ của động cơ lớn hơn điện áp nguồn:

$E>U_ư$, do đó dòng điện phần ứng sẽ thay đổi chiều so với trạng thái động cơ $I_ư = \dfrac{U_ư - E}{R_{ưt}} < 0$, momen động cơ đổi chiều (M<0) và trở nên ngược chiều ω động cơ biến thành bộ hãm.




*Hình 2 - 8. Đặc tính cơ và chiều tác dụng của các đại lượng điện - cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập ở trạng thái hãm tái sinh*

Ở trạng thái này, cơ năng trên trục động cơ được biến đổi thành điện năng để trả về nguồn; động cơ làm việc như một máy phát điện song song với nguồn $U_ư$.

So với trạng thái động cơ, mạch điện của động cơ ở trạng thái hãm tái sinh không có gì thay đổi. Phương trình đặc tính cơ áp dụng (2-4) và (2-6) bằng cách đổi dấu của $I_ư$ và M:

$$\omega = \frac{U_ư}{K\Phi} + \frac{R_ư}{K\Phi}.|I_ư| \qquad (2\text{-}37)$$

$$\omega = \frac{U_ư}{K\Phi} + \frac{R_ư}{(K\Phi)^2}.|M| \qquad (2\text{-}38)$$

Đoạn đặc tính cơ hãm tái sinh được biểu diễn ở góc phần tư thứ hai trên hình 2-8. Ở đó đồng thời cũng biểu diễn chiều tác dụng của các đại lượng $U_ư$, E, $I_ư$, ω, M. Hãy so sánh các quan hệ tương ứng ở trạng thái động cơ (góc phần tư thứ nhất) để thấy rõ sự khác nhau giữa hai trạng thái.

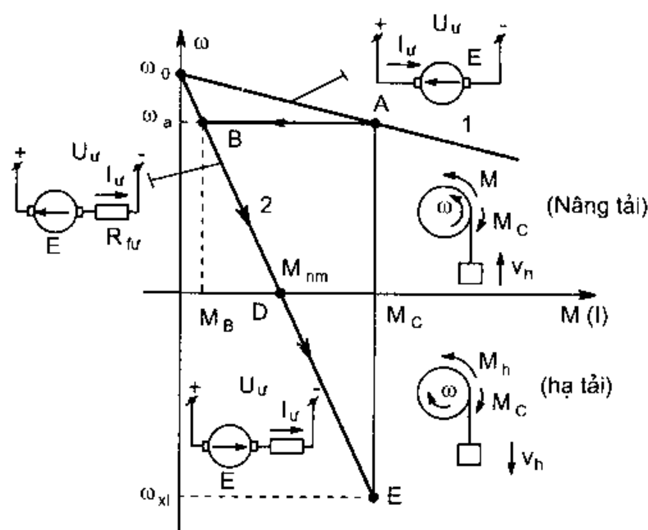
Thực tế, hãm tái sinh có thể xẩy ra ở cần trục, máy nâng khi hạ các tải trọng nặng, hoặc ở các hệ truyền động điều chỉnh khi giảm điện áp nguồn $U_ư$, nghĩa là khi giảm đột ngột tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$, trong khi tốc độ ω chưa kịp giảm.

### *b) Hãm ngược*

Hãm ngược xẩy ra khi động cơ (dưới tác động của thế năng hoặc động năng tích luỹ trong cơ cấu công tác) quay ngược chiều tốc độ không tải lí tưởng.

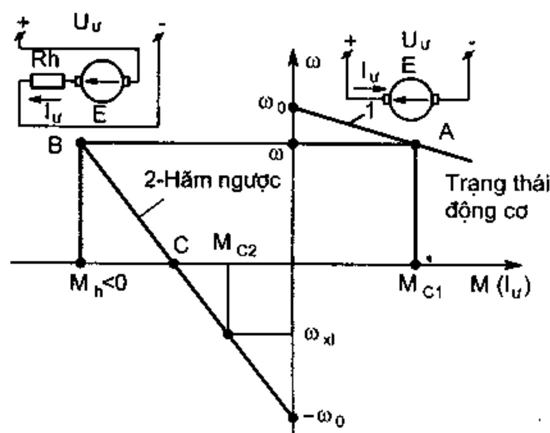
Hãy xét hai trường hợp sau làm ví dụ :

- Giả sử ta có tải thế năng do tải trọng của cần trục tác động lên trục động cơ. Động cơ đang được đóng điện với $U_ư>0$, tạo ra $\omega_0>0$ và tốc độ động cơ là $\omega_a$ quay theo chiều nâng tải trọng $\omega_a>0$. Đó là trường hợp ứng với đặc tính cơ 1 trên hình 2-9 (ở trạng thái động cơ). Nếu tại thời điểm đó, ta nối thêm vào mạch phần ứng một điện trở phụ $R_{fư}$ (đủ lớn) thì dòng điện $I_ư$ giảm xuống, momen động cơ giảm theo và trở nên nhỏ hơn momen cản. Lúc đó động cơ sẽ chuyển sang làm việc trên đặc tính biến trở có điện trở phụ $R_{fư}$ (điểm B trên đường đặc tính 2). Tại thời điểm chuyển đổi mạch điện này, momen động cơ nhỏ hơn momen cản ($M_B<M_C$) nên tốc độ nâng tải ω giảm dần. Khi ω = 0, động cơ ngắn mạch (điểm D trên đặc tính 2) nhưng momen của nó vẫn nhỏ hơn momen cản : $M_{nm}<M_c$. Do đó momen cản của tải trọng sẽ kéo cho trục động cơ quay ngược và tải trọng được hạ xuống (ω<0, đoạn DE). Đoạn DE trên đặc tính 2 ứng với trạng thái hãm ngược : động cơ được đóng điện với $U_ư>0$, tạo ra momen theo chiều nâng tải, nhưng động cơ lại quay theo chiều hạ tải. Ở trường hợp này sự chuyển động của hệ được thực hiện nhờ thế năng của tải.




*Hình 2 - 9. Hãm ngược khi hạ tải trọng*

- Trường hợp thứ hai, giả sử động cơ đang có điện với một cực tính điện áp $U_ư$ nào đó và đang quay với chiều ω tương ứng, nếu ta đảo cực tính điện áp $U_ư$ , tức thay đổi chiều của tốc độ không tải lí tưởng, thì trạng thái hãm




*Hình 2 - 10. Hãm ngược khi đảo cực tính điện áp nguồn $U_ư$*

ngược sẽ xảy ra không phụ thuộc tải thế năng hay tải phản kháng. Trên hình 2-10 trước khi hãm, động cơ đang làm việc tại điểm A (ở trạng thái động cơ) với $U_ư>0$, $\omega_0>0$, $\omega>0$, $I_ư>0$ và $M>0$. Nếu đảo cực tính điện áp nguồn ta có $U_ư<0$ và $\omega_0<0$, động cơ sẽ chuyển sang làm việc tại điểm B trên đặc tính 2; Dòng điện $I_ư$ sẽ đổi chiều (theo chiều của $U_ư < 0$ và E), tạo ra momen hãm $M < 0$, ngược với chiều tốc độ. Đoạn BC là đoạn đặc tính hãm ngược

***Chú ý :*** Ở trạng thái hãm ngược, điện áp nguồn cùng chiều với Sđđ E của động cơ, nên dòng điện $I_ư$ có thể rất lớn. Để hạn chế $I_ư$ người ta phải nối thêm điện trở phụ $R_h$ khá lớn vào mạch phần ứng.

Hãm ngược thường được sử dụng để dừng máy, hoặc để hạ các tải trọng nặng trong máy nâng, cần trục với tốc độ ổn định.

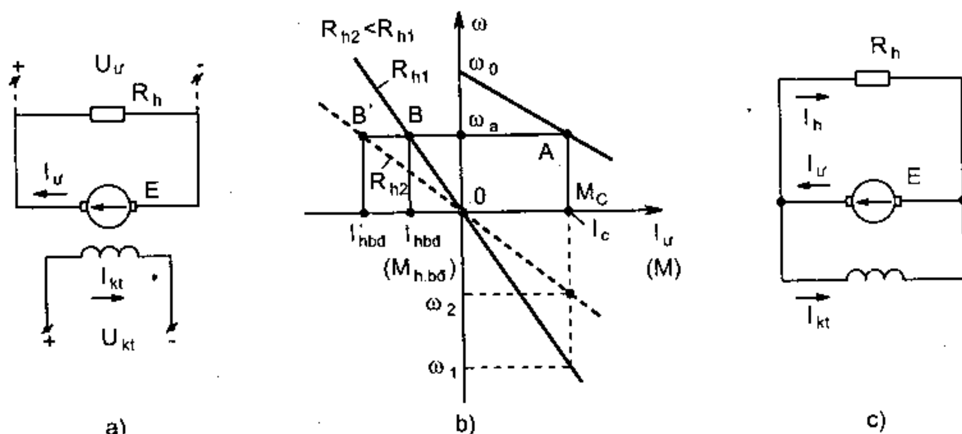
***c) Hãm động năng***

Hãm động năng xẩy ra khi động cơ đang quay mà ta cắt phần ứng của nó ra khỏi nguồn $U_ư$, và đóng vào một điện trở $R_h$ (chú ý vẫn duy trì dòng điện kích từ để tạo ra từ thông). Rõ ràng lúc này động cơ được quay nhờ động năng tích luỹ trong hệ cơ học, nó làm việc như một máy phát điện độc lập, biến động năng đó thành điện năng và tiêu tán trên điện trở $R_h$ dưới dạng nhiệt. Trong quá trình biến đổi đó, nó tạo ra momen ngược chiều tốc độ và gây ra tác dụng hãm.

Sơ đồ mạch điện khi hãm động năng được vẽ trên hình 2-11a. Đặc tính cơ ở trạng thái này được suy ra từ phương trình (2-4) và (2-6) khi thay $U_ư = 0$:

$$\omega = -\frac{R_ư + R_h}{K\Phi}.I_ư = -\frac{R_ư + R_h}{(K\Phi)^2}.M \qquad (2\text{-}39)$$

và được biểu diễn ở góc phần tư thứ hai và thứ tư trên hình 2-11b.




***Hình 2 - 11**. a) Sơ đồ nối dây hãm động năng kích từ độc lập*
*b) Đặc tính cơ hãm động năng kích từ độc lập ; c) Sơ đồ hãm động năng tự kích*

Độ cứng của đặc tính cơ hãm động năng phụ thuộc vào giá trị $R_h$ :

$$|\beta| = \frac{(K\Phi)^2}{R_u + R_h}$$

Ở một tốc độ đã cho nào đó, nếu giảm $R_h$, dòng điện $I_u$ tăng và do đó momen hãm sẽ tăng. Thông thường người ta tính chọn $R_h$ sao cho khi hãm động cơ từ tốc độ lớn nhất ($\omega_{max} = \omega_{dm}$) thì dòng điện hãm ban đầu không vượt quá giá trị cho phép $I_{hbd} \leq I_{cp}$ (=2÷2,5)$I_{dm}$.

***Chú ý :*** Dòng điện kích từ $i_{kt}$ được duy trì bằng cách nối cuộn dây kích từ vào nguồn $U_{kt}$ độc lập (như trên hình 2-11a). Khi đó từ thông $\Phi$ = const và đặc tính cơ hãm động năng là những đường thẳng (hình 2-11b). Cũng có trường hợp, ta dùng sơ đồ "hãm động năng tự kích" : khi đó cuộn kích từ được nối vào phần ứng động cơ như trên hình 2-11c. Trường hợp này từ thông $\Phi$ giảm dần khi tốc độ giảm, do đó đặc tính cơ là đường cong và tác dụng hãm sẽ yếu đi rất nhiều khi tốc độ giảm.

Hãm động năng thường được ứng dụng để làm dừng máy. Trong thiết bị nâng cầu, nó cũng được dùng để hạ tải trọng với tốc độ thấp. Đặc biệt sơ đồ hãm động năng tự kích cho phép hãm dừng truyền động ngay cả khi mất điện nguồn, do đó nó được coi là biện pháp hãm dừng an toàn.

* ***Ví dụ 2-2*** : Xác định trị số điện trở hãm đấu vào mạch phần ứng để hãm động năng động cơ điện một chiều kích từ song song với yêu cầu momen hãm lớn nhất $M_{hmax} = 2M_{dm}$. Số liệu cho trước: động cơ trong ví dụ 2-1, trước khi hãm động cơ làm việc tại trạng thái định mức ($M = M_{dm}$, $\omega = \omega_{dm}$) ; sử dụng sơ đồ hãm kích từ độc lập (hình 2-11a)

***Giải :*** Ta sử dụng sơ đồ hãm động năng kích từ độc lập hình 2-11a trong đó đảm bảo từ thông động cơ trong quá trình hãm là định mức $\Phi = \Phi_{dm}$.

Đặc tính cơ của động cơ trước khi hãm là đặc tính tự nhiên, và đặc tính cơ khi hãm động năng, ví dụ đường B'O, có dạng như đã biểu diễn trên hình 2-11b.

Điểm làm việc trước khi hãm (điểm A trên hình 2-11b) là điểm định mức, ta có:

$I_C = I_u = I_{dm} = 35A$, tương ứng với momen định mức $M_{dm}$;

$\omega_a = \omega_{dm} = 230,3$ rad/s (xem ví dụ 2-1)

Sdđ của động cơ trước khi hãm sẽ là:

$$E_a = U_{dm} - I_u . R_u = 220 - 35 . 0,26 = 210,9 \text{ V}$$

Từ hình 2-11b ta thấy, momen (và dòng điện) hãm lớn nhất sẽ có được tại thời điểm ban đầu của quá trình hãm, ngay khi chuyển đổi mạch điện làm việc sang mạch hãm động năng (điểm B) :

$$I_{h.max} = I_{h.bd} \qquad \text{hoặc} \qquad M_{h.max} = M_{h.bd}$$

Vì $\Phi = \Phi_{dm}$ nên momen M tỉ lệ với dòng điện $I_u$ do đó để đảm bảo điều kiện $M_{hmax} = 2M_{dm}$ thì :

$$I_{h.bd} = 2I_{dm} = 2.35 = 70 \text{ A}$$

Điện trở tổng trong mạch phần ứng được xác định theo (2-39) :

$$R_{ut} = \left|\frac{K\Phi\omega}{I_u}\right| = \left|\frac{K\Phi\omega_a}{I_{hbd}}\right| = \left|\frac{E_a}{I_{h.bd}}\right| = \frac{210,9}{70} = 3,01\ \Omega$$

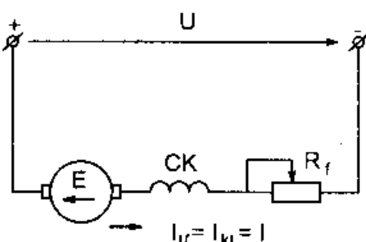
Vậy điện trở hãm phải đấu vào mạch phần ứng sẽ là:

$$R_h = R_{ut} - R_u = 3,01 - 0,26 = 2,75\ \Omega.$$

# 2.3. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU KÍCH TỪ NỐI TIẾP VÀ KÍCH TỪ HỖN HỢP

## 2.3.1. Phương trình và dạng đặc tính cơ của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Sơ đồ nguyên lý của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp được vẽ trên hình 2-12, trong đó cuộn dây kích từ CK nối nối tiếp với cuộn dây phần ứng, dòng điện kích từ cũng chính là dòng điện phần ứng: $I_{KT} = I_u = I$.




*Hình 2 - 12. Sơ đồ nguyên lý động cơ một chiều kích từ nối tiếp*

Từ sơ đồ nguyên lý ta viết được phương trình tương tự như (2-1):

$$U = E + (R_u + R_f).\, I$$

Trong đó : $R_u$ - điện trở mạch phần ứng bao gồm điện trở cuộn dây phần ứng $r_u$, điện trở cực từ phụ $r_{cf}$, điện trở tiếp xúc chổi than $r_{ct}$ và điện trở cuộn kích từ $r_{kt}$ :

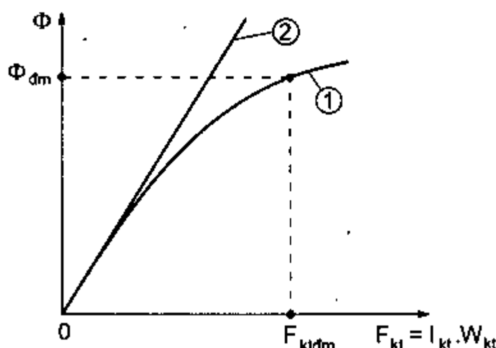
$$R_u = r_u + r_{cf} + r_{ct} + r_{kt} \qquad (2\text{-}40)$$

Tương tự như động cơ kích từ độc lập , từ phương trình trên, kết hợp với các quan hệ : $E = K\Phi\omega$ và $M = K\Phi I$, ta rút ra phương trình đặc tính cơ điện và phương trình đặc tính cơ :

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_{ư} + R_f}{K\Phi} I \qquad (2\text{-}41)$$

$$\omega = \frac{U}{K\Phi} - \frac{R_{ư} + R_f}{(K\Phi)^2} M \qquad (2\text{-}42)$$

Trong các phương trình trên, từ thông Φ phụ thuộc dòng điện kích từ (tức phụ thuộc dòng điện I của động cơ) theo đặc tính từ hoá như trên hình 2-13 (đường 1). Đó là quan hệ giữa từ thông Φ với sức từ động $F_{kt}$ của động cơ, trong đó sức từ động là tích của dòng kích từ và số vòng dây của cuộn kích từ: $F_{kt} = I_{kt}.W_{kt}$. Khi cho dòng kích từ định mức $I_{kt.dm}$ ta sẽ được từ thông định mức $\Phi_{dm}$. Đặc tính từ hoá có dạng đường cong bão hoà như đường 1 trên hình 2-13, nên quan hệ $\Phi = f(I_{kt}) = f(I)$ là phức tạp. Tuy nhiên, để việc phân tích được đơn giản, ta coi đặc tính từ hoá là đường thẳng như đường 2 trên hình 2-13, và nếu không tính đến phản ứng phần ứng, thì từ thông sẽ tỷ lệ với dòng điện động cơ :



*Hình 2 - 13. Đặc tính từ hoá của động cơ một chiều kích từ nối tiếp*

$$\Phi = c.I_{kt} = c.I \qquad (2\text{-}43)$$

Trong đó, c – hệ số tỷ lệ, phụ thuộc hệ số góc đường đặc tính từ hoá và số vòng dây cuộn kích từ $W_{kt}$.

Thay (2-43) vào (2-41) ta được phương trình của đặc tính cơ điện dạng:

$$\omega = \frac{U}{K.c.I} - \frac{R_{ư} + R_f}{K.c.I} I = \frac{A_1}{I} - B \qquad (2\text{-}44)$$

Trong đó, $A_1$ và B – các hằng số : $A_1 = \frac{U}{K.c}$ ; $B = \frac{R_{ư} + R_f}{K.c}$ ;

Như vậy đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp có dạng đường hypebol và rất mềm. Nó có hai đường tiệm cận :

*- Khi $I \rightarrow 0$, $\omega \rightarrow \infty$ : Tiệm cận trục tung*

*- Khi $\omega \rightarrow -B$ , $I \rightarrow \infty$ : Tiệm cận đường $\omega = -B = -(R_{ư}+R_f)/K.c$.*

Đặc tính cơ điện được biểu diễn trên hình 2-14a.

Thay I trong (2-44) bằng quan hệ :

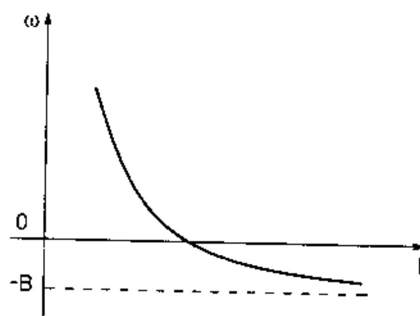
$$M = K\Phi I = K.c.I^2, \text{ hoặc } I = \sqrt{\frac{M}{Kc}} \qquad (2\text{-}45)$$

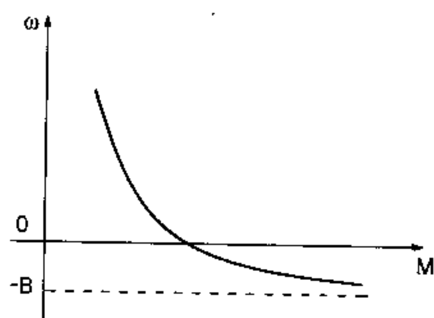
ta được phương trình đặc tính cơ:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{K.c}.\sqrt{M}} - \frac{R_u + R_f}{K.c} = \frac{A_2}{\sqrt{M}} - B \qquad (2\text{-}46)$$

Với $A_2 = A_1.\sqrt{K.c}$ - hằng số.

Đường đặc tính cơ biểu diễn theo (2-46) cũng tương tự như đặc tính cơ điện (xem hình 2-14b), với hai đường tiệm cận như trên .



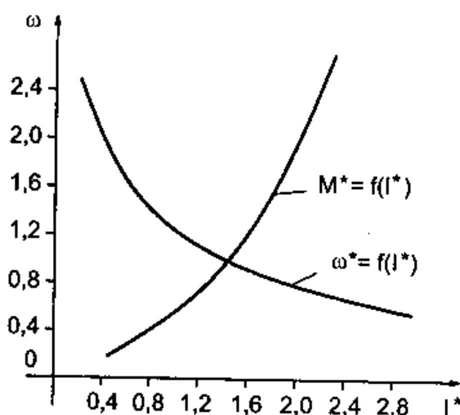




***Hình 2 - 14.*** *a) Đặc tính cơ điện của động cơ một chiều kích từ nối tiếp ; b) Đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ nối tiếp.*

Khi không có điện trở phụ ($R_f = 0$) ta sẽ có đặc tính tự nhiên với trục tiệm cận khi $I \rightarrow \infty$ hoặc $M \rightarrow \infty$ thì $\omega \rightarrow -B = -R_u/Kc$.

## 2.3.2. Đặc tính vạn năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

Các phương trình (2-41), (2-42) và các đặc tính trên hình 2-14 được rút ra với giả thiết đặc tính từ hoá $\Phi = f(I)$ là đường thẳng. Tuy nhiên, thực tế quan hệ $\Phi = f(I)$ là phi tuyến nên việc viết phương trình và vẽ các đặc tính cơ là rất khó khăn, vì vậy các nhà chế tạo thường cho trước các đường cong thực nghiệm $\omega^* = f(I^*)$ và $M^* = f(I^*)$ khi không có điện trở phụ gọi là đặc tính vạn năng của động cơ (hình 2-15). Các đặc tính này cho theo đơn vị tương đối $\omega^* = \omega/\omega_{dm}$, $I^* = I/I_{dm}$, $M^* = M/M_{dm}$ dùng chung cho cả loạt động cơ trong dãy công suất có cùng tiêu chuẩn thiết kế.

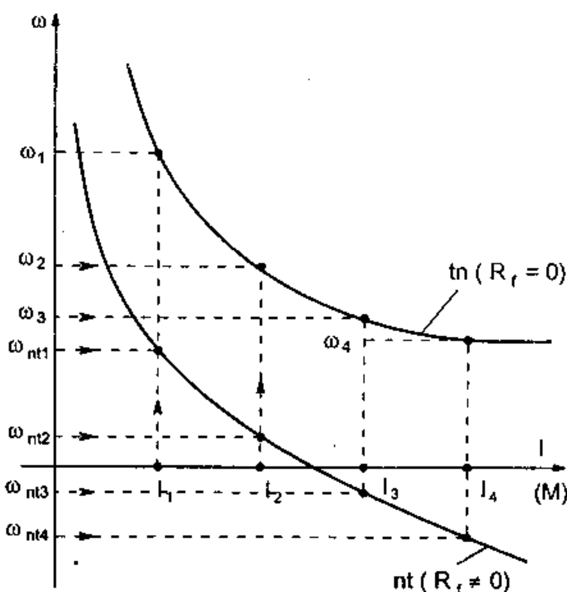



***Hình 2 - 15.*** *Các đặc tính vạn năng của động cơ một chiều kích từ nối tiếp*

Đối với một động cơ đã cho, ta chỉ cần lấy giá trị $\omega_{dm}$ nhân vào trục tung và lấy $I_{dm}$ nhân vào trục hoành, ta sẽ được đặc tính cơ điện tự nhiên $\omega = f(I)$ của động cơ đó. Mặt khác, từ giá trị I* tra theo đường M* = f(I*) ta được giá trị M* tương ứng. Nhân giá trị M* đó với $M_{dm}$ của động cơ đã cho ta được M. Như vậy từ đặc tính cơ điện tự nhiên và đường vạn năng M*= f(I*) ta sẽ được đặc tính cơ tự nhiên $\omega = f(M)$.

## 2.3.3. Các đặc tính nhân tạo của động cơ điện một chiều kích từ nối tiếp

Đối với động cơ một chiều kích từ nối tiếp, người ta thường sử dụng các đặc tính nhân tạo "biến trở" (dùng thêm $R_f$). Các đặc tính nhân tạo biến đổi điện áp có thể gặp trong vài trường hợp, ví dụ khi đổi nối các cặp động cơ giống nhau từ nối song song sang nối tiếp vào một nguồn điện áp. Còn đặc tính thay đổi từ thông thì rất ít gặp. Vì vậy ở đây ta chỉ quan tâm đến "đặc tính nhân tạo biến trở".




***Hình 2 - 16**. Từ đặc tính tự nhiên (tn) vẽ đặc tính nhân tạo (nt)*

Các đặc tính nhân tạo biến trở, với sơ đồ nối điện trở phụ như trên hình 2-12, sẽ được tính toán dựa trên đường đặc tính tự nhiên (với $R_f = 0$). Giả sử ta đã có đặc tính tự nhiên (được suy ra từ đặc tính vạn năng nêu trên) như trên hình 2-16. Lấy một giá trị $I_1$ nào đó, dóng lên đặc tính này ta có tốc độ tương ứng $\omega_1$. Có thể biểu thị $\omega_1$ theo phương trình đặc tính cơ tự nhiên :

$$\omega_1 = \frac{U - I_1 R_u}{k\Phi_1} \qquad (2\text{-}47)$$

Nếu theo phương trình đặc tính cơ nhân tạo có điện trở phụ $R_f$ thì ứng với $I_1$ ta có tốc độ :

$$\omega_{nt1} = \frac{U - I_1(R_u + R_f)}{K\Phi_1} \qquad (2\text{-}48)$$

So sánh (2-48) với (2-47) ta có biểu thức xác định $\omega_{nt1}$:

$$\omega_{nt1} = \omega_1 \cdot \frac{U - I_1(R_{u} + R_f)}{U - I_1 R_{u}} \qquad (2\text{-}49)$$

Như vậy với $I_1$ đã chọn và $\omega_1$ tra được trên đặc tính tự nhiên, theo (2-49) ta sẽ tính ra giá trị $\omega_{nt1}$ trên đường đặc tính nhân tạo cần tìm.

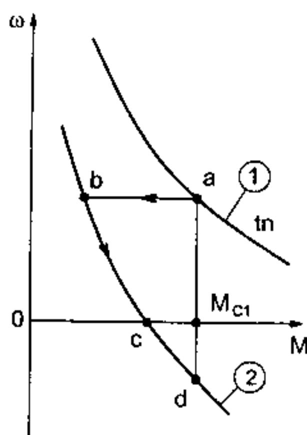
Với $I_1$ và $\omega_{nt1}$ ta xác định được một điểm trên đặc tính nhân tạo. Làm tương tự như vậy với các giá trị $I_2$, $I_3$... ta có $\omega_{nt2}$, $\omega_{nt3}$... và cuối cùng vẽ được đặc tính cơ điện và đặc tính cơ nhân tạo có điện trở phụ $R_f$ ( hình 2-16)

## 2.3.4. Các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ nối tiếp

Như đã nêu ở mục 1, khi không tải lý tưởng, tốc độ động cơ một chiều kích từ nối tiếp rất lớn, về lý thuyết $\omega_0 = \infty$, còn thực tế nhờ có từ dư trong động cơ nên $\omega_0 \approx (10 \div 20)\omega_{dm}$. Vì vậy động cơ này không có trạng thái hãm tái sinh, mà chỉ có trạng thái hãm ngược và hãm động năng.

*a) Trạng thái hãm ngược*

Tương tự như ở động cơ một chiều kích từ độc lập, trạng thái hãm ngược có thể xảy ra trong hai trường hợp :



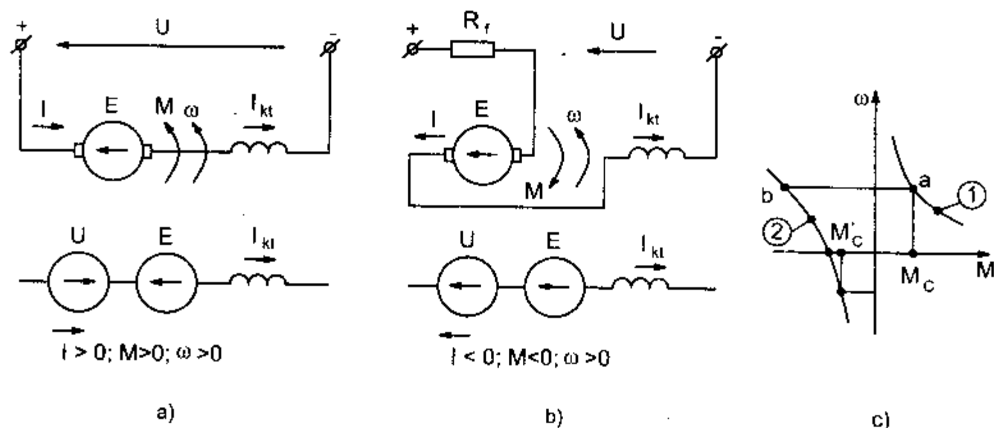

*Hình 2 - 17. Hãm ngược động cơ một chiều kích từ nối tiếp bằng cách nối $R_f$ khi tải thế năng*

- Đưa thêm điện trở phụ $R_f$ đủ lớn vào mạch động cơ khi tải thế năng, ta được đặc tính nhân tạo 2 trên hình 2-17. Đoạn cd là phần đặc tính hãm ngược của động cơ, khi đó động cơ quay theo chiều ngược ($\omega<0$) nhưng momen động cơ lại tác động theo chiều thuận ($M>0$), gây ra tác dụng hãm.

- Trường hợp hãm ngược thứ hai xảy ra khi đảo cực tính điện áp đặt vào phần ứng của động cơ đang quay.

Hình 2-18 minh hoạ cho trường hợp này. Giả sử động cơ đang được đóng điện với cực tính $U>0$, quay với chiều $\omega>0$ làm việc ở trạng thái động cơ tương ứng với điểm a trên đặc tính tự nhiên 1. Chiều tác dụng của các đại lượng ghi trên hình 2-18a, trong đó chiều của momen M trùng với chiều tốc độ ω. Nếu ta đổi cực tính điện áp đặt vào phần ứng (chú ý giữ chiều dòng kích từ không đổi) như sơ đồ hình 2-18b, thì dòng điện trong phần ứng đổi chiều ($I<0$) do đó momen đổi chiều ($M<0$) trở thành ngược với chiều tốc độ và động cơ chuyển sang trạng thái hãm. Điểm làm việc sẽ chuyển từ a sang b trên đặc

tính 2 (hình 2-18c). Đoạn bc là đoạn đặc tính hãm ngược. Ở trạng thái này điện áp nguồn U và Sđđ E của động cơ có cùng cực tính, nên có khả năng gây ra dòng điện lớn. Để hạn chế dòng điện hãm (và cũng để hạn chế momen hãm) người ta phải nối thêm điện trở phụ $R_f$ ( hình 2-18b).

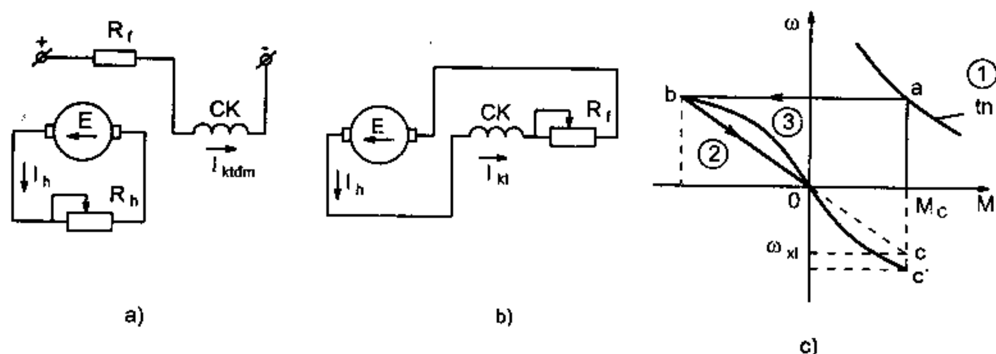



*Hình 2 - 18. Hãm ngược động cơ một chiều kích từ nối tiếp bằng cách đảo cực tính điện áp đặt vào phần ứng*

*a) Khi làm việc ở trạng thái động cơ ; b) Khi đảo cực tính điện áp để hãm ngược; c) Các đặc tính cơ ứng với hai trạng thái hãm trên.*

### b) Trạng thái hãm động năng

Trạng thái hãm động năng xẩy ra khi ta cắt phần ứng của động cơ đang quay ra khỏi nguồn điện rồi đóng vào điện trở $R_h$, trong khi vẫn duy trì dòng điện kích từ theo chiều cũ. Tuỳ theo cách duy trì dòng kích từ, người ta phân biệt hai trường hợp hãm động năng : hãm có kích từ độc lập và hãm tự kích. Sơ đồ nguyên lý của hai trường hợp này được vẽ trên hình 2-19.




*Hình 2 - 19. Hãm động năng động cơ một chiều kích từ nối tiếp*

*a) Sơ đồ nguyên lý hãm kích từ độc lập ; b) Sơ đồ nguyên lý hãm tự kích ; c) Các đặc tính cơ tương ứng*

Khi thực hiện hãm động năng có kích từ độc lập thì chú ý nối thêm điện trở phụ $R_f$ vào mạch kích từ để giữ cho dòng điện $I_{kt}$ ở giá trị định mức. Trường hợp này giống với trường hợp hãm động năng của động cơ kích từ độc lập trên hình 2-11a với đặc tính cơ là đường thẳng (hình 2-19c, đường 2)

Khi thực hiện hãm động năng tự kích thì chú ý đổi nối hai đầu dây của cuộn kích từ để giữ cho chiều $I_{kt}$ không đổi, như sơ đồ hình 2-19b. Ở trường hợp này, đặc tính cơ sẽ là đường cong vì từ thông giảm dần theo tốc độ (đường 3 hình 2-18c). Như vậy, tương tự như ở động cơ kích từ độc lập, ở đây sơ đồ hãm động năng tự kích tuy đơn giản, nhưng khi tốc độ giảm thì momen hãm giảm nhiều hơn so với sơ đồ hãm có kích từ độc lập, do đó tác dụng hãm yếu hơn.

### 2.3.5. Nhận xét về động cơ một chiều kích từ nối tiếp

- Về cấu tạo, động cơ một chiều kích từ nối tiếp có cuộn kích từ chịu dòng lớn, nên tiết diện to và số vòng ít. Nhờ đó nó dễ chế tạo hơn và ít hư hỏng hơn so với động cơ một chiều kích từ song song ( độc lập).

- Động cơ này có khả năng quá tải lớn về momen. Khi có cùng một hệ số quá tải dòng điện như nhau thì momen của động cơ kích từ nối tiếp lớn hơn momen của động cơ kích từ độc lập.

Thực vậy, lấy ví dụ khi cho quá tải dòng $I_{qt} = 1,5I_{dm}$ thì momen quá tải của động cơ kích từ độc lập (và kích từ song song) là : $M_{qt} = K\Phi_{dm}.1,5I_{dm} = 1,5\ M_{dm}$, nghĩa là hệ số quá tải momen bằng hệ số quá tải dòng điện : $K_{qtM} = K_{qtI} = 1,5$. Trong khi đó, momen của động cơ kích từ nối tiếp tỷ lệ với bình phương dòng điện, nên $M'_{qt} = K.C.I^2 = K.C.(1,5I_{dm})^2 = 1,5^2.M_{dm} = 2,25M_{dm}$ nghĩa là hệ số quá tải momen bằng bình phương lần của hệ số quá tải dòng điện $K'_{qtM} = K^2_{qtI}$.

- Momen của động cơ kích từ nối tiếp không phụ thuộc vào sụt áp trên đường dây tải điện, nghĩa là nếu giữ cho dòng điện trong động cơ là định mức chẳng hạn thì momen động cơ cũng là định mức, dù cho động cơ nối ở đầu đường dây (điện áp đủ) hay cuối đường dây (điện áp thiếu).Trong khi đó đối với động cơ một chiều kích từ song song điện áp nguồn giảm đi bao nhiêu lần thì từ thông giảm đi bấy nhiêu lần và do đó momen giảm tương tự dù ta vẫn duy trì dòng điện phần ứng không đổi.

- Nhờ có các đặc tính cơ dạng hybecbol, nên động cơ có khả năng tự điều tiết giá trị tốc độ khi phụ tải thay đổi để giữ cho công suất động cơ gần như không đổi. Nhờ đó, khi nhẹ tải, động cơ sẽ quay nhanh hẳn để tăng năng suất máy, ngược lại khi nặng tải động cơ sẽ chạy chậm để khắc phục tải mà không gây ra quá tải về công suất.

Từ những đặc điểm trên, ta thấy động cơ một chiều kích từ nối tiếp sử dụng thích hợp cho truyền động các máy vận chuyển, nâng bốc, các máy thường bị quá tải lớn như máy cán thép đảo chiều,...

### 2.3.6. Đặc điểm, đặc tính cơ và các trạng thái hãm của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp.

Sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp vẽ trên hình 2-20 với hai cuộn kích từ cùng tạo ra từ thông chính kích thích động cơ :

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_n$$

*Hình 2 - 20. Sơ đồ nguyên lý của động cơ một chiều kích từ hỗn hợp*

Trong đó :

$\Phi_s$ – phần từ thông do cuộn kích từ song song CKs tạo ra, thông thường $\Phi_s$ = (0,75÷0,85) $\Phi_{dm}$ và không phụ thuộc vào dòng điện phần ứng, tức không phụ thuộc vào phụ tải.

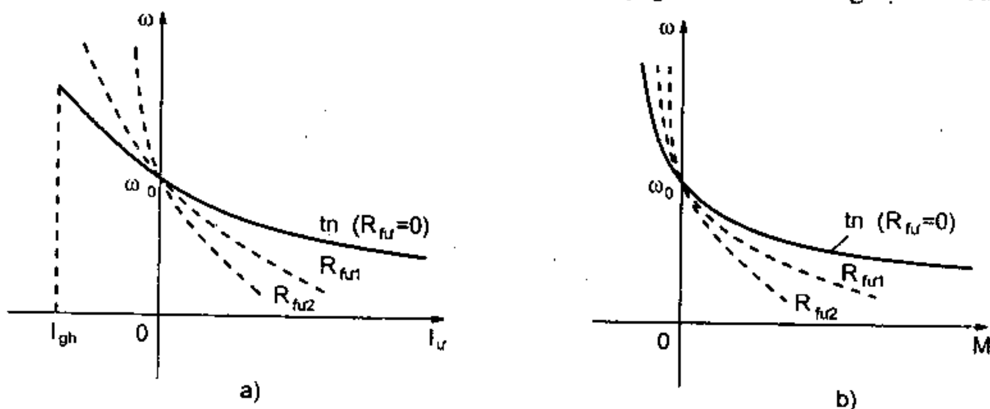
$\Phi_n$ – phần từ thông do cuộn kích từ nối tiếp CKn tạo ra, phụ thuộc dòng điện phần ứng. Khi phụ tải $M_c = M_{dm}$ thì $I_ư = I_{dm}$, tương ứng:

$$\Phi_{n.dm} = (0,25 \div 0,15)\ \Phi_{dm}$$

Do có hai cuộn kích từ nêu trên, nên đặc tính cơ của loại động cơ này vừa có dạng phi tuyến như động cơ kích từ nối tiếp, đồng thời có điểm không tải lí tưởng [0,$\omega_0$] như của động cơ kích từ độc lập (xem hình 2-21), trong đó tốc độ không tải lí tưởng có giá trị khá lớn so với tốc độ định mức:

$$\omega_0 \approx (1,3 \div 1,6)\ \omega_{dm}$$

Động cơ một chiều kích từ hỗn hợp có ba trạng thái hãm tương tự như của



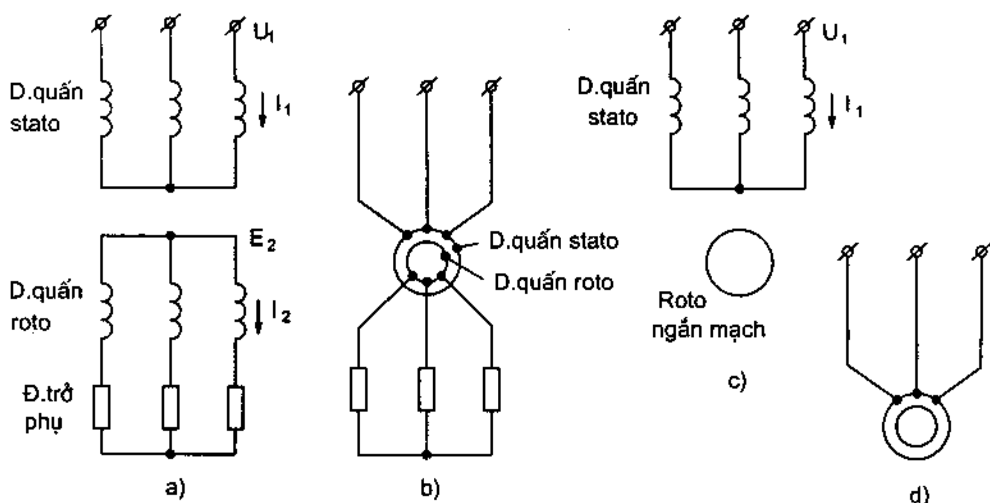

*Hình 2 - 21. Động cơ điện một chiều kích từ hỗn hợp*
*a) Đặc tính cơ điện; b) Đặc tính cơ*

động cơ kích từ độc lập : Hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng. Điều kiện để động cơ làm việc ở những trạng thái đó và sơ đồ thực hiện chúng cũng giống như đã trình bày đối với động cơ kích từ độc lập và động cơ kích từ nối tiếp ở phần trên.

## 2.4. ĐẶC TÍNH CƠ CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Động cơ xoay chiều không đồng bộ được sử dụng nhiều nhất trong thực tế nhờ các ưu điểm như đơn giản về cấu tạo, nhỏ gọn, tin cậy, giá thành rẻ và chi phí vận hành thấp, hơn nữa nó có thể đấu trực tiếp vào lưới điện xoay chiều ba pha mà không cần phải qua một thiết bị biến đổi nào.

Có hai loại động cơ không đồng bộ : động cơ roto dây quấn (ký hiệu bản vẽ như trên hình 2-22a,b) và động cơ roto lồng sóc (roto ngắn mạch) như hình 2-22c,d . Tuy nhiên về nguyên lý làm việc chúng không khác nhau nên ta khảo sát chung cả hai loại không phân biệt.




*Hình 2 - 22. Sơ đồ nối dây vàký hiệu bản vẽ của động cơ không đồng bộ vẽ cho trường hợp dây quấn stato nối* Y)

### 2.4.1. Đặc tính cơ điện

Ở đặc tính cơ điện và đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ, đại lượng tốc độ ω được biểu thị thông qua đại lượng "hệ số trượt" s – là độ chênh lệch giữa tốc độ góc của roto ω so với tốc độ từ trường quay $\omega_0$ tính theo đơn vị tương đối :

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \qquad (2\text{-}50)$$

Trong đó , ω - tốc độ góc của roto , $\omega_0$ – tốc độ từ trường quay, được xác định bởi tần số dòng điện stato f và số đôi cực từ p của động cơ :

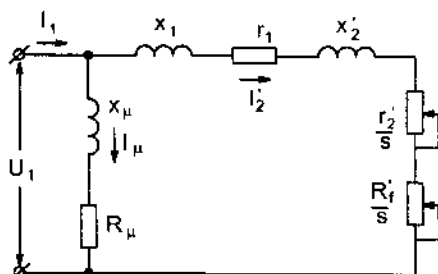
$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \qquad (2\text{-}50a)$$

Đặc tính cơ điện được biểu thị theo dòng điện stato $I_1$ hoặc dòng điện roto $I_2$ :

$$\omega = f(I_1) \text{ và } \omega = f(I_2)$$

Phương trình các đặc tính này có thể dễ dàng tìm ra từ sơ đồ thay thế một pha của động cơ.

Theo lý thuyết máy điện, khi coi động cơ và lưới điện là lí tưởng, nghĩa là ba pha của động cơ đối xứng, các thông số dây quấn như điện trở và điện kháng không đổi, tổng trở mạch từ hoá không đổi, bỏ qua tổn thất ma sát và tổn thất trong lõi thép và điện áp lưới hoàn toàn đối xứng, thì sơ đồ thay thế một pha của động cơ như trên hình 2-23.



*Hình 2 - 23. Sơ đồ thay thế một pha của động cơ không đồng bộ*

Trong đó : $U_1$ – trị số hiệu dụng của điện áp pha Stato (V) ;

$I_\mu$, $I_1$, $I'_2$ – dòng điện từ hoá, dòng điện stato, và dòng điện roto đã quy đổi về stato (A).

$X_\mu$, $X_1$, $X'_2$ - điện kháng mạch từ hoá, điện kháng stato và điện kháng roto đã quy đổi về stato (Ω).

$R_\mu$, $R_1$, $R'_2$- điện trở tác dụng của mạch từ hoá, của mạch stato, và điện trở roto đã quy đổi về stato (Ω).

Từ sơ đồ hình 2-23 ta viết được biểu thức của dòng điện roto $I'_2$ đã quy đổi về stato như sau :

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \qquad (2\text{-}51)$$

Trong đó $X_1 + X'_2 = X_{nm}$ - Điện kháng ngắn mạch của động cơ (Ω) và trong một số trường hợp được cho trước ; $R'_2$ bao gồm điện trở dây quấn roto và điện trở phụ nối ở mạch ngoài (thường gặp ở động cơ rôto dây quấn) : $R'_2 = r'_2 + R'_f$

Việc tính quy đổi điện trở và điện kháng roto về stato được thực hiện th
công thức:

$$R_2' = R_2.K_e^2; \qquad X_2' = X_2.K_e^2 \qquad (2\text{-}52)$$

Trong đó: $K_e = \frac{E_1}{E_{2nm.f}}$ - Hệ số biến đổi sức điện động của dây qu
stato và roto (giá trị pha), có thể xác định gần đúng theo điện áp lưới:

$$K_e = 0,95\frac{U_1}{E_{2nm.f}} \qquad (2\text{-}53)$$

$E_{2.nm.f}$ - Sức điện động pha rôto khi hở mạch và rôto động cơ đứng yên

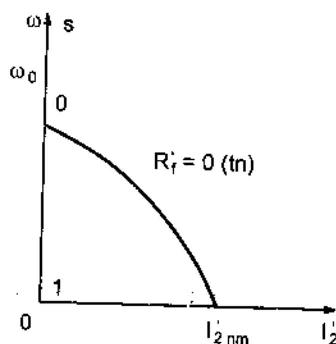
Thay các giá trị khác nhau của s vào (2-51) ta được đặc tính cơ điệ
$I_2' = f(s)$ như trên hình 2-24.

Trong đó có điểm không tải lý tưởng : khi s=0, ứng với $\omega = \omega_0$ thì $I_2' = 0$
và điểm ngắn mạch (khởi động) khi s = 1, ứng với $\omega = 0$ thì :

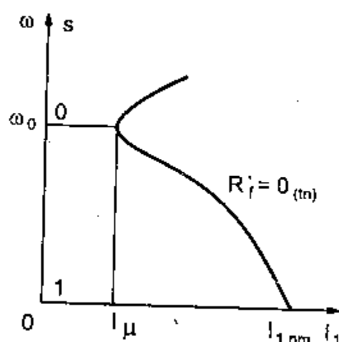
$$I_2' = I_{2.nm}' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + R_2'\right)^2 + \left(X_{nm}\right)^2}} \qquad (2\text{-}54)$$

Thay trục tung bằng giá trị của $\omega = \omega_0(1\text{-}s)$ ta được quan hệ $\omega = f(I_2')$ (hình
2-24).

Cũng có thể biểu thị đặc tính cơ điện theo dòng stato $I_1$ và dòng này cũng
được xác định từ sơ đồ thay thế trên hình 2-23, bao gồm trong nó thành phần
dòng $I_2'$ và thành phần dòng điện từ hoá $I_\mu$ .




***Hình 2 - 24.*** *Đặc tính cơ điện vẽ theo dòng roto của động cơ không đồng bộ*




***Hình 2 - 25.*** *Đặc tính cơ điện vẽ theo dòng stato của động cơ không đồng bộ*

Viết theo vectơ :

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2^{'} + \dot{I}_\mu \quad (2\text{-}55a)$$

Viết theo modul :

$$I_1 = U_1\left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}} + \frac{1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2^{'}}{s}\right)^2 + X_{nm}^{2'}}}\right] \quad (2\text{-}55b)$$

Như vậy, khi không tải lý tưởng, s = 0 thì $I_1 = I_\mu = U_1\left[\frac{1}{\sqrt{R_\mu^2 + X_\mu^2}}\right]$; còn khi ngắn mạch s = 1 thì $I_{1.nm} = I_\mu + I_{2.nm}^{'}$.

Đặc tính cơ điện biểu diễn theo $I_1$ được vẽ trên hình 2-25.

### 2.4.2. Đặc tính cơ

Phương trình đặc tính cơ được suy ra từ điều kiện cân bằng công suất trong động cơ: công suất điện từ chuyển từ stato vào rôto $P_{12}$ sẽ bằng tổng của công suất cơ đưa ra trên trục cơ $P_{cơ}$ và công suất tổn thất ΔP trong động cơ:

$$P_{12} = P_{cơ} + \Delta P \quad (2\text{-}56)$$

Trong đó : $P_{12} = M_{đt}\omega_0$

$$P_{cơ} = M.\omega$$

Với những giả thiết đã nêu khi lập sơ đồ thay thế một pha, ta có momen điện từ $M_{đt}$ và momen cơ M bằng nhau, còn tổn hao công suất ΔP chỉ xét đến tổn hao đồng do dòng điện rôto gây ra trên điện trở mạch rôto, nghĩa là:

$$M_{đt} \approx M$$

$$\Delta P \approx \Delta P_2 = 3I_2^{'2}R_2^{'}$$

Như vậy (2-56) được viết gần đúng như sau :

$M\omega_0 = M\omega + 3I_2^{'2}R_2^{'}$ hoặc $M(\omega - \omega_0) = 3I_2^{'2}R_2^{'}$ hoặc $M\omega_0\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 3I_2^{'2}R_2^{'}$

Thay $\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = s$, ta rút được biểu thức của momen M như sau :

$$M = \frac{3I_2'^2 R_2'}{\omega_0 s} = \frac{3I_2^2 R_2}{\omega_0 s} \quad (2\text{-}57)$$

Nếu thay giá trị $I_2'$ bằng biểu thức (2-51), ta được :

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'/s}{\omega_0 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{nm}^2 \right]} \quad (2\text{-}58)$$

Đây là một dạng của phương trình đặc tính cơ. Cho s những giá trị khác nhau, theo (2-58) ta tính ra momen M tương ứng, đồng thời cũng tính ra tốc độ $\omega = \omega_0$ (1-s), ta vẽ được đặc tính cơ như trên hình 2-26. Đó là đường cong có điểm cực trị, gọi là điểm "tới hạn", ứng với toạ độ :

Độ trượt tới hạn : $$s_{th} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}} \quad (2\text{-}59)$$

và momen tới hạn

$$M_{th} = \pm \frac{3U_1^2}{2\omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{nm}^2}]} \quad (2\text{-}60)$$

Trong các biểu thức trên, dấu + ứng với trạng thái động cơ, dấu – ứng với trạng thái máy phát.

Nếu biểu diễn (2-58) thông qua đại lượng $s_{th}$ và $M_{th}$ ta được dạng phương trình thông dụng của đặc tính cơ :

$$M = \frac{2M_{th}(1 + as_{th})}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s} + as_{th}} \quad (2\text{-}61)$$

Trong đó : $a = \frac{R_1}{R_2'}$

Trong những trường hợp không yêu cầu độ chính xác cao, ta có thể sử dụng các phương trình dạng gần đúng của (2-61) như sau :

- Khi coi $R_1 \approx 0$ ta có :

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2\text{-}62)$$

- Khi chỉ tính toán trong vùng làm việc với phụ tải $M_c \le M_{dm}$, coi $s << s_{th}$ ta bỏ qua thành phần $s/s_{th}$ ở mẫu số ta được :

$$M = \frac{2M_{th}}{s_{th}} s \qquad (2\text{-}63)$$

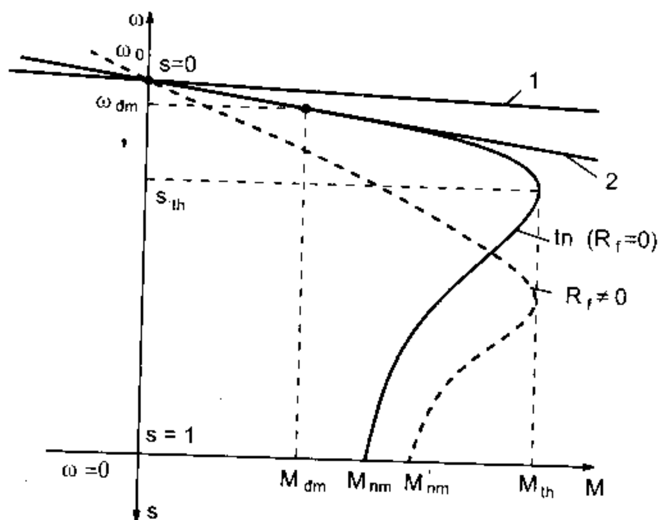
Phương trình (2-63) chính là phương trình tuyến tính hoá trong vùng có độ trượt nhỏ (đường 1 trên hình 2-26)

Các phương trình (2-61), (2-62), (2-63) sử dụng thuận tiện trong thực tế vì có thể xác định các giá trị $M_{th}$, $S_{th}$ theo các số liệu cho trên nhãn máy hoặc catalo.

Hình 2-26 cho thấy đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ là đường cong có hai đoạn:

- Đoạn thứ nhất, từ điểm không tải lí tưởng ($s = 0$, $\omega = \omega_0$) đến điểm tới hạn ($s = s_{th}$) gọi là "*đoạn công tác*" có độ cứng $\beta < 0$. Động cơ chỉ làm việc xác lập trên đoạn này.

- Đoạn thứ hai, từ điểm tới hạn đến điểm ngắn mạch ($s = 1$, $\omega = 0$), có độ cứng $\beta > 0$, và chỉ tồn tại trong giai đoạn khởi động hoặc quá độ. Giá trị momen ngắn mạch (momen khởi động) $M_{nm}$ có thể xác định bằng cách thay $s = 1$ vào (2-61) hoặc (2-62).



*Hình 2 - 26. Đặc tính cơ của động cơ điện không đồng bộ*

## 2.4.3. Đặc tính tự nhiên

Đặc tính cơ tự nhiên nhận được từ phương trình (2-61), (2-62) khi thay các số liệu định mức trong catalo để xác định các đại lượng $M_{th}$ và $s_{th}$. Nó cũng tương ứng với trường hợp thay các số liệu định mức của nguồn và $R_f = 0$ vào các phương trình (2-58), (2-59), (2-60).

Khi cho trước công suất định mức $P_{đm}$(kW), tốc độ $n_{đm}$ (vg/ph), hệ số momen cực đại (momen tới hạn) $\lambda = M_{th}/M_{đm}$ và biết tốc độ từ trường quay $\omega_0$, ta có:

$$\omega_{đm} = \frac{2\pi n_{đm}}{60} = \frac{n_{đm}}{9,55}\ \text{(rad/s)}\ ;\ s_{đm} = \frac{\omega_0 - \omega_{đm}}{\omega_0}\ ;\ M_{đm} = \frac{1000.P_{đm}}{\omega_{đm}}$$

Thay vào (2-62) các giá trị $M = M_{dm}$; $M_{th} = \lambda M_{dm}$, ta rút ra biểu thức xác định độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên :

$$s_{th} = s_{dm}\left[\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right] \quad (2\text{-}64)$$

Cuối cùng, thay $M_{th}$ và $s_{th}$ vào (2-62), ta được phương trình của đặc tính cơ tự nhiên.

Nếu tuyến tính hoá đoạn công tác của đặc tính này qua điểm không tải lí tưởng và điểm định mức (đường 2 trên hình 2-26) thì có thể biểu thị đặc tính cơ tự nhiên bằng phương trình :

$$\frac{M}{M_{dm}} = \frac{s}{s_{dm}} \text{ hoặc } M = \frac{M_{dm}}{s_{dm}} s \quad (2\text{-}65)$$

Như vậy, một cách gần đúng ta có độ cứng đặc tính cơ trong đoạn công tác là:

$$|\beta| = \frac{dM}{d\omega} = \frac{1}{\omega_0}\frac{dM}{ds} = \frac{M_{dm}}{\omega_0 s_{dm}} \quad (2\text{-}66)$$

$$\text{và } \beta^* = \frac{dM/M_{dm}}{d\omega/\omega_0} = \frac{1}{s_{dm}} \quad (2\text{-}67)$$

Nghĩa là độ cứng đặc tính cơ tự nhiên tỉ lệ nghịch với độ trượt định mức.

### 2.4.4. Các đặc tính nhân tạo

Viết lại phương trình đặc tính cơ (2-58) với $\omega_0 = 2\pi f/p$, ta được :

$$M = \frac{3U_1^2 R_2'/s}{\frac{2\pi f}{p}\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2\right]} \quad (2\text{-}68)$$

Phương trình này cho thấy có thể tạo ra các đặc tính cơ nhân tạo cho động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi một trong bảy thông số sau : điện áp stato $U_1$, tần số dòng điện stato f, số đôi cực từ động cơ p, điện trở mạch roto $R_2$, điện trở mạch stato $R_1$, điện kháng mạch stato $X_1$ và điện kháng mạch roto $X_2$.

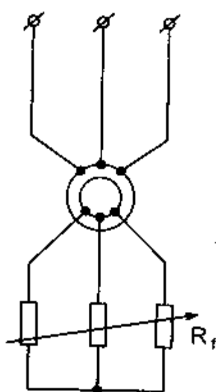
Phương pháp thay đổi $X_2$ không có hiệu quả vì tần số dòng điện roto rất nhỏ, nên người ta không sử dụng. Các phương pháp còn lại đều được áp dụng để tạo ra các đặc tính nhân tạo khi cần điều chỉnh tốc độ hoặc điều khiển các quá trình khởi động, các quá trình quá độ của động cơ. Sau đây ta xét các họ đặc tính cơ nhân tạo.

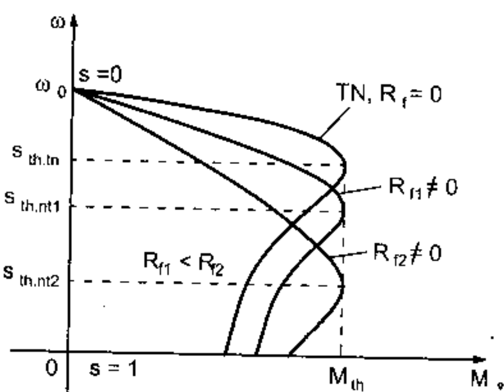
*a) Họ đặc tính thay đổi $R_2$* (họ đặc tính biến trở)

Để thay đổi điện trở mạch roto, ta phải nối thêm điện trở phụ $R_f$ vào ba pha roto (bằng nhau hoặc không bằng nhau) như sơ đồ hình 2-27. Từ các biểu thức (2-59), (2-60) ta thấy khi thay đổi $R_2$ momen tới hạn được giữ không đổi (và bằng momen tới hạn của đặc tính tự nhiên), còn độ trượt tới hạn thì phụ thuộc tỷ lệ thuận với điện trở tổng trong mạch roto :

$$M_{th} = M_{th.tn} = \text{const} \; ; \; S_{th} = S_{th.tn} \cdot \frac{R_2 + R_f}{R_2} \equiv R_2 + R_f \qquad (2\text{-}69)$$

Các đặc tính nhân tạo biến trở đều đi qua điểm không tải lí tưởng ($\omega$ = const) như trên hình 2- 27b.



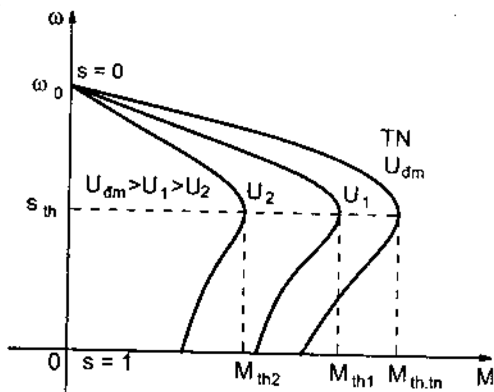

***Hình 2 - 27.** Sơ đồ nối dây (a) và họ đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi điện trở mạch roto(b) của động cơ không đồng bộ*

Thực tế người ta ứng dụng họ đặc tính này để khởi động và điều chỉnh tốc độ động cơ roto dây quấn.

***b) Họ đặc tính thay đổi điện áp stato***

Khi giảm điện áp stato, tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$ và hệ số trượt tới hạn của động cơ sẽ không đổi, còn momen tới hạn giảm bình phương lần so với mức giảm điện áp (biểu thức 2-60 và 2-50a).

$\omega_0$ = const ; $s_{th} = s_{th.tn}$ = const ;



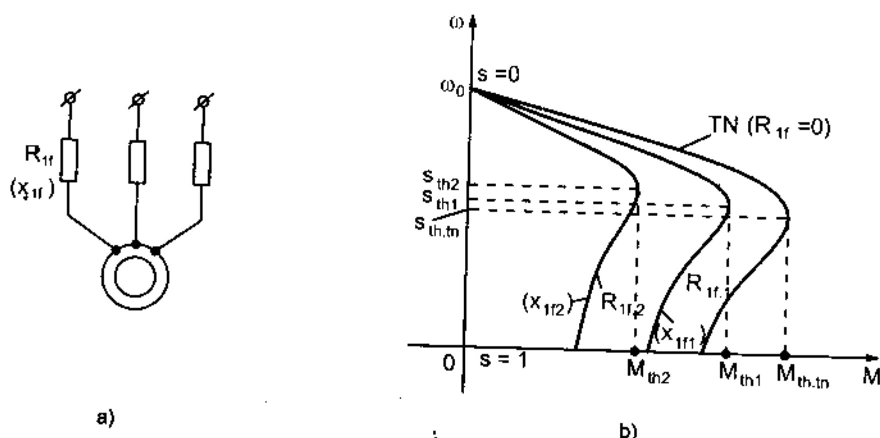

***Hình 2 - 28.** Họ đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi điện áp stato của động cơ không đồng bộ*

$$M_{th} = M_{th.tn}\left(\frac{U_1}{U_{dm}}\right)^2 \qquad (2\text{-}70)$$

Họ đặc tính nhân tạo khi thay đổi $U_1$ có dạng như trên hình 2-28. Người ta ứng dụng họ đặc tính này chủ yếu để khởi động động cơ và một số trường hợp để điều chỉnh tốc độ.

### *c) Họ đặc tính thay đổi điện trở và điện kháng stato*

Ảnh hưởng của $R_1$ và $X_1$ đến dạng đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ gần giống nhau. Để thay đổi các thông số này, ta phải nối thêm một điện trở phụ hoặc điện kháng phụ vào 3 pha (có lúc chỉ nối ở hai hoặc 1 pha) của động cơ như ở sơ đồ 2-29a. Do sự tăng điện trở hoặc điện kháng của mạch stato ($R_1+R_{1f}$ hoặc $X_1+X_{1f}$) nên từ các biểu thức (2-59), (2-60) ta thấy độ trượt tới hạn và momen tới hạn đều giảm, còn tốc độ không tải lí tưởng thì không đổi. Họ đặc tính nhân tạo của hai phương pháp này có dạng như trên hình 2-29b. Thực tế thường gặp các đặc tính này khi khởi động các động cơ roto lồng sóc.



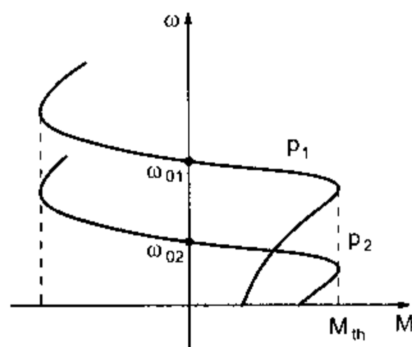

***Hình 2 - 29.*** *Sơ đồ nối điện trở hoặc điện kháng phụ stato và đặc tính nhân tạo tương ứng của động cơ không đồng bộ.*

### *d) Đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực p*

Người ta đã chế tạo hai loại động cơ có khả năng thay đổi số đôi cực từ: Loại có hai bộ dây quấn stato riêng biệt, mỗi bộ có một số đôi cực p độc lập; và loại có một bộ dây quấn nhưng mỗi pha đều chia ra hai phân đoạn, khi đổi nối các phân đoạn đó theo những nguyên tắc nhất định ta nhận được các số đôi cực khác nhau. Về nguyên lý, khi p thay đổi, tốc độ từ trường quay thay đổi tỷ lệ nghịch theo biểu thức (2-50a).

$$\omega_0 = 2\pi f/p$$

Vì p chỉ có thể thay đổi theo số tự nhiên : p =1,2,3... nên tốc độ từ trường quay thay đổi nhảy cấp và ta được các đặc tính cơ tương ứng như trên hình 2-30. Người ta ứng dụng các đặc tính này để điều chỉnh tốc độ động cơ.




*Hình 2 - 30. Đặc tính cơ khi thay đổi số đôi cực từ ($p_2 = 2p_1$) với nguyên tắc giữ $M_{th}$ =const*

***e) Họ đặc tính nhân tạo khi thay đổi tần số f***

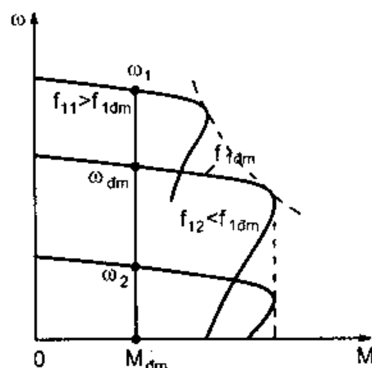
Khi thay đổi tần số dòng điện stato, tốc độ từ trường quay thay đổi theo (2-50a), nên các dạng đặc tính nhân tạo cũng tương tự như khi thay đổi số đôi cực từ. Tuy nhiên, so với đường đặc tính tự nhiên có $f_{dm}$ = 50Hz, thì các đặc tính nhân tạo có thể thấp hơn (nếu f< $f_{dm}$) và cũng có thể cao hơn (nếu f> $f_{dm}$). Biểu thức (2-60) cho thấy momen tới hạn phụ thuộc cả vào tần số và điện áp. Ta có thể viết gọn biểu thức (2-60) thành :

$$M_{th} = A\frac{U_1^2}{f^2} \qquad (2\text{-}71)$$

( A – hệ số tỷ lệ)

Do đó khi thay đổi tần số f người ta thường thay đổi cả điện áp $U_1$ theo những quy luật nhất định để đảm bảo cho động cơ làm việc ở các chế độ tốt nhất. Trên hình 2-31 là họ đặc tính cơ khi thay đổi tần số, trong đó ở vùng f< $f_{dm}$ ta điều chỉnh điện áp theo quy luật U/f= const để giữ $M_{th}$ = const ; còn ở vùng f>$f_{dm}$ ta điều chỉnh điện áp theo quy luật $U/\sqrt{f}$ = const để giữ cho động cơ không bị quá tải về công suất.

Họ đặc tính cơ khi biến đổi tần số được ứng dụng nhiều trong các hệ truyền động tự động hiện đại dùng động cơ không đồng bộ.




*Hình 2 - 31. Họ đặc tính nhân tạo khi thay đổi tần số của động cơ không đồng bộ*

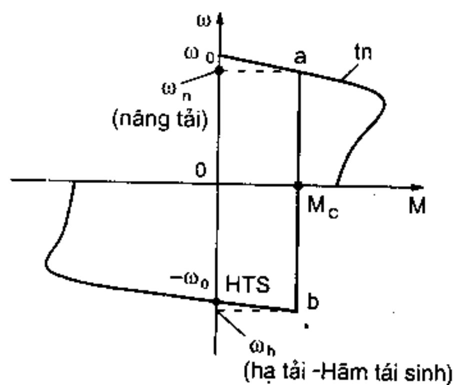
## 2.4.5. Các trạng thái hãm của động cơ không đồng bộ

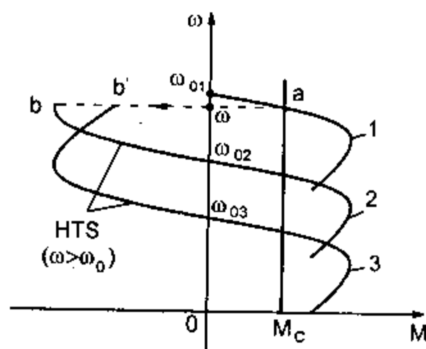
Tương tự như động cơ điện một chiều kích từ độc lập, động cơ không đồng bộ cũng có 3 trạng thái hãm: Hãm tái sinh, hãm ngược và hãm động năng. Điều kiện để cho động cơ làm việc ở các trạng thái hãm này và công dụng thực tế của chúng cũng giống như đã trình bày đối với động cơ một

chiều kích từ độc lập. Ở đây cần chú ý thêm cách nối mạch để thực hiện hãm và dạng các đặc tính cơ khi hãm.

***a) Hãm tái sinh***

Hãm tái sinh động cơ không đồng bộ xảy ra khi tốc độ roto lớn hơn tốc độ từ trường quay ($\omega > \omega_0$), lúc đó động cơ làm việc như một máy phát điện xoay chiều song song với lưới, biến cơ năng từ trục thành điện năng trả về lưới điện.



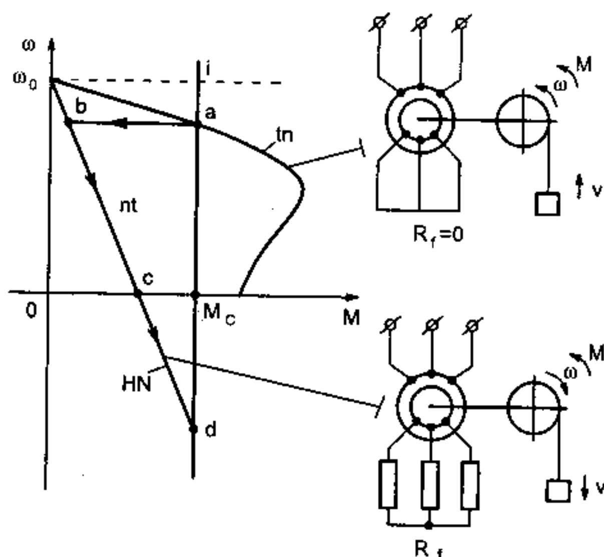




*Hình 2 - 32. Các đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi hãm tái sinh*
*a) Trường hợp hạ tải ở máy nâng ; b) Trường hợp điều chỉnh giảm tần số dòng điện stato*

Thực tế trạng thái này có thể gặp trong hai trường hợp : ở các máy nâng – cần trục khi hạ tải, và ở các hệ truyền động có điều chỉnh tốc độ từ trường quay $\omega_0$ khi ta đột ngột giảm $\omega_0$ đến mức độ nhỏ hơn tốc độ roto. Sơ đồ nối dây động cơ ở trạng thái hãm tái sinh không khác gì ở trạng thái động cơ, còn đặc tính cơ ứng với hai trường hợp thường gặp nêu trên được vẽ trên hình 2-32.

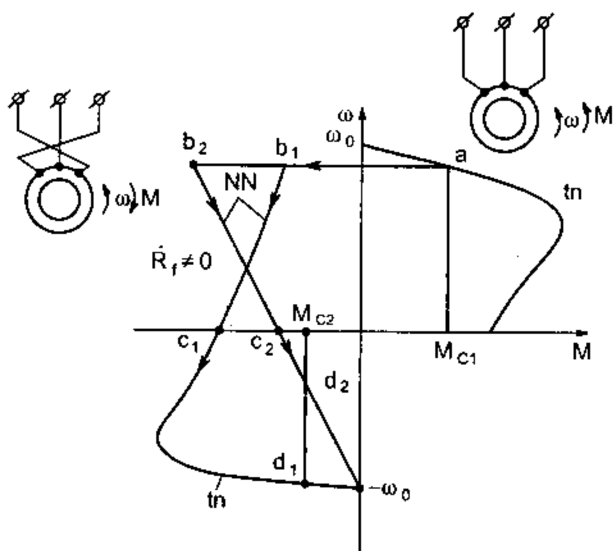
***b) Hãm ngược***

Trạng thái hãm ngược động cơ không đồng bộ cũng giống như ở động cơ điện một chiều, có thể nhận được bằng hai cách : nhờ tải trọng




*Hình 2 - 33. Hãm ngược nhờ tải trọngkéo(hạ tải) thực hiện bằng cách nối điện trở phụ vào mạch roto (đoạn cd) dùng cho động cơ roto dây quấn*

kéo được và nhờ đổi nối thứ tự pha dòng điện stato để buộc động cơ quay theo chiều ngược với chiều từ trường quay. So với khi động cơ làm việc ở trạng thái động cơ, và kể cả so với khi roto đứng yên (động cơ ngắn mạch), ở trạng thái hãm ngược các thanh dẫn cắt từ trường quay của stato với tốc độ cao hơn, do đó sức điện động và dòng điện roto lớn hơn. Vì vậy hãm ngược có khả năng tạo ra momen hãm lớn, tác dụng hãm máy rất mạnh, thời gian hãm dừng máy có thể rất ngắn.




*Hình 2 - 34. Hãm ngược bằng cách đảo thứ tự pha điện áp stato : dùng cho động cơ lồng sóc (đoạn $b_1c_1$) và động cơ roto dây quấn có $R_f \neq 0$ (đoạn $b_2c_2$)*

Tuy nhiên, cũng vì thế mà thường yêu cầu hạn chế dòng điện hãm. Thực tế trường hợp hãm ngược để hạ tải trọng (hãm nhờ tải trọng kéo) được thực hiện bằng cách nối tăng điện trở phụ vào mạch roto của động cơ roto dây quấn, nên điện trở này bản thân nó đã có tác dụng hạn chế dòng điện. Hình 2-33 đưa ra sơ đồ nối điện trở phụ để hạ tải ở trạng thái hãm ngược và các đặc tính cơ tương ứng.

Trường hợp hãm ngược nhờ đổi thứ tự pha điện áp stato dùng được cho cả động cơ roto dây quấn và động cơ lồng sóc.Tuy nhiên,nếu là động cơ roto dây quấn thì người ta luôn luôn nối thêm vài cấp điện trở phụ để vừa hạn chế dòng điện, vừa làm tăng momen hãm (hình 2-34).

### c) Hãm động năng

Hãm động năng động cơ không đồng bộ có thể xảy ra nếu khi roto đang quay ta cắt cuộn dây stato ra khỏi lưới điện xoay chiều rồi nối vào nguồn điện một chiều. Khi đó động cơ làm việc như một máy phát điện đồng bộ cực ẩn được kích từ ở phía stato, còn roto được quay nhờ động năng tích luỹ trong hệ ; động năng này được biến đổi thành điện năng và tiêu hao trên điện trở mạch roto dưới dạng nhiệt.

Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi động cơ từ trạng thái động cơ (tiếp điểm K đóng, H mở) sang trạng thái hãm động năng (K mở, H đóng) vẽ trên hình 2-35a. Nếu tưởng tượng lúc này từ trường stato do dòng điện một chiều sinh ra nên tốc độ từ trường quay ω = 0, thì sẽ thấy các đặc tính cơ hãm động năng đi qua gốc toạ độ như trên hình 2-35b. Đặc tính này cũng có phương trình dạng tương tự

như phương trình đặc tính cơ (2-62) nhưng phải dùng đại lượng "tốc độ tương đối" ω* thay cho độ trượt s :

$$M = \frac{2M_{th.dn}}{\frac{\omega^*}{\omega^*_{th}} + \frac{\omega^*_{th}}{\omega^*}} \qquad (2\text{-}72)$$

Trong đó : Tốc độ tương đối : $\omega^* = \frac{\omega}{\omega_0}$ (2-73)

Tốc độ tương đối tới hạn : $\omega^*_{th} = \frac{R'_2}{X_\mu + X'_2}$ (2-74)

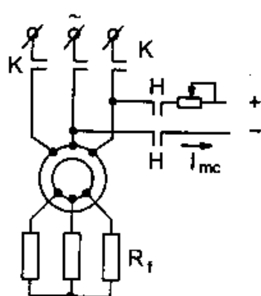
Với : $R_2$, $X_2$, $X_\mu$ - điện trở và điện kháng mạch roto và mạch từ hoá ($R_2 = r_2 + R_f$).

Momen tới hạn hãm động năng :

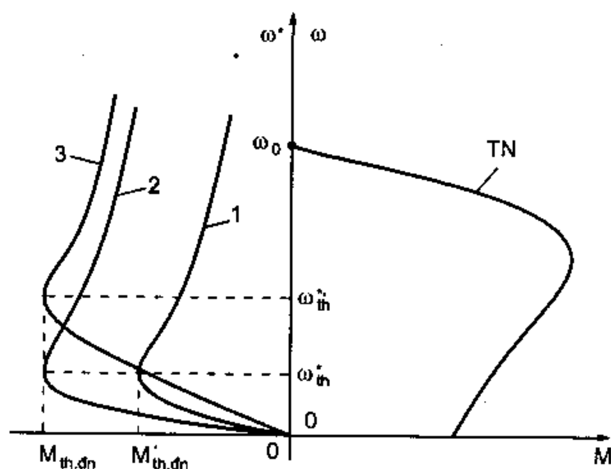
$$M_{th.\,dn} = \frac{3I_1^2.X_\mu^2}{2\omega_0\left(X_\mu + X'_2\right)} \qquad (2\text{-}75)$$

Trong phương trình (2-75) :

$I_1$ - dòng điện xoay chiều đẳng trị (giả tưởng) thay thế cho dòng điện một chiều $I_{mc}$ chạy trong cuộn dây stato khi thực hiện hãm động năng. Nó phụ thuộc tỷ lệ vào $I_{mc}$ và cách nối dây mạch stato thể hiện bằng hệ số A : $I_1 = A.\,I_{mc}$ (2-76)




a)




b)

***Hình 2 - 35.*** *Hãm động năng động cơ không đồng bộ. a) Sơ đồ nguyên lý ;*
*b) Đặc tính cơ - đường 1 và 2 : có cùng điện trở $R_2$ nhưng khác nhau về dòng $I_1$ ;*
*đường 2 và 3 : có cùng giá trị $I_1$ nhưng khác nhau về điện trở $R_2$*

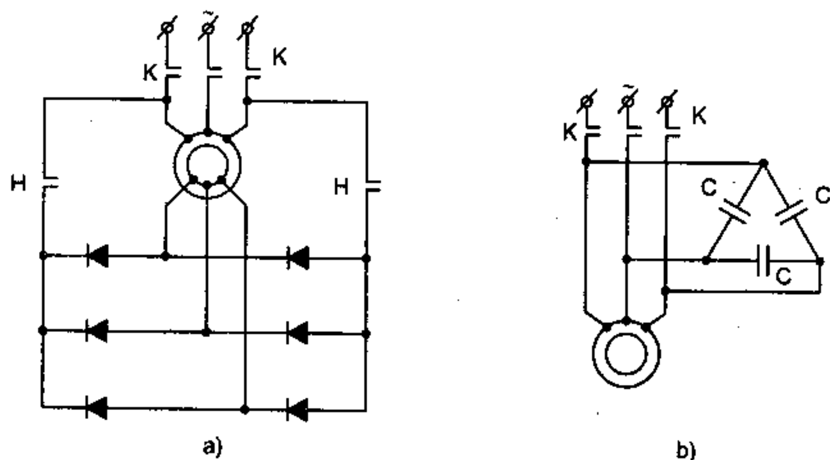
Như vậy khi thay đổi điện trở $R_2$ hoặc thay đổi dòng điện một chiều trong cuộn stato $I_{mc}$ ta có thể làm thay đổi vị trí của đường đặc tính cơ (các đường 1,2,3 hình 2-35).

Bảng 2-1 đưa ra các sơ đồ nối cuộn dây ba pha stato vào nguồn điện một chiều khi hãm và các hệ số A tương ứng. Sau khi chọn sơ đồ và dự định giá trị $I_{mc}$, ta sẽ xác định được $M_{th.dn}$.

***Bảng 2 - 1***

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sơ đồ đấu dây mạch stato | $W_1$, $W_1$, $W_1$, $I_{mc}$, $I_{mc}$, +, - | $W_1$, $I_{mc}$, $\frac{1}{2}I_{mc}$, $\frac{1}{2}I_{mc}$, +, - | $I_{mc}$, $\frac{1}{3}I_{mc}$, $\frac{2}{3}I_{mc}$, $\frac{1}{3}I_{mc}$, +, - | $I_{mc}$, $\frac{1}{2}I_{mc}$, $\frac{1}{2}I_{mc}$, +, - |
| Ký hiệu sơ đồ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Hệ số A | $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{3}$ | $\frac{1}{\sqrt{2}.\sqrt{3}}$ |

Cũng có thể lấy dòng điện $I_{mc}$ không phải từ nguồn điện một chiều bên ngoài, mà sử dụng ngay năng lượng của động cơ thông qua bộ chỉnh lưu ở mạch roto (hình 2-36a) hoặc bộ tụ điện ở mạch stato (hình 2-36b). Các sơ đồ này có tên gọi là "hãm động năng tự kích" và rất thuận tiện trọng sử dụng nhưng hiệu quả hãm thì kém hơn phương pháp khảo sát trên.




*Hình 2 - 36. Sơ đồ hãm động năng tự kích của động cơ không đồng bộ a) Dùng chỉnh lưu mạch roto; b) dùng tụ điện.*

*** *Ví dụ 2-3 :*** Tính và vẽ đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ nhân tạo của động cơ không đồng bộ roto dây quấn với điện trở phụ mỗi pha $R_f = 0,175\ \Omega$, biết số liệu của động cơ như sau : 850 kW, 6000 V, $n_0 = 600$ vg/ph, $n_{dm} = 588$ vg/ph, $\lambda=2,15$ ; $E_{2nm} = 1150$ V ; $I_{2dm} = 450$ A

***Giải :*** Với động cơ cô ng suất lớn, ta có thể sử dụng phương trình gần đúng (2-62) coi $R_1$ rất nhỏ hơn $R_2$ tức a = 0.

Độ trượt định mức: $s_{dm}=\dfrac{n_0 - n_{dm}}{n_0} = \dfrac{600-588}{600} = 0,02$

Momen định mức:

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}1000}{n_{dm}/9,55} = \frac{850.1000}{588/9,55} = 13805 \quad \text{N.m} \qquad \text{hoặc} \quad M^*_{dm} = 1$$

Momen tới hạn: $M_{th} = \lambda M_{dm} = 2,15.13805 = 29681$ N.m hoặc $M^*_{th} = 2,15$

Điện trở định mức : $R_{dm} = E_{2.nm}/\sqrt{3}\, I_{2.dm} = 1,476\ \ \Omega$

Điện trở dây quấn roto : $R_2 = R^*_2 R_{dm} = s_{dm}R_{dm} = 0,02.1,476 = 0,0295\ \ \Omega$

Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên xác định theo (2-64) :

$$s_{th} = s_{dm}\left[\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right] = 0,02\left[2,15 + \sqrt{2,15^2 - 1}\right] = 0,08$$

Phương trình đăc tính cơ tự nhiên:

$$M = \frac{2M_{th}}{\dfrac{s}{s_{th}} + \dfrac{s_{th}}{s}} = \frac{59,362}{\dfrac{s}{0,08} + \dfrac{0,08}{s}}$$

$$\text{hoặc} \quad M^* = \frac{2\lambda}{\dfrac{s}{s_{th}} + \dfrac{s_{th}}{s}}$$

Với momen ngắn mạch:

$$M_{nm} = \frac{59362}{\dfrac{1}{0,08} + 0,08} = 4777 \quad \text{Nm} = 0,35M_{dm}$$

Theo đó ta có đường dặc tính tự nhiên như trên hình 2-37 đi qua 4 điểm : điểm không tải [M=0 ; s=0]; điểm định mức [ $M^*_{dm} = 1 ; s_{dm} = 0,02$ ] ; điểm tới hạn TH [ $M^*_{th} = 2,15; s_{th} = 0,08$ ]; điểm ngắn mạch NM [ $M^*_{nm} = 0,35; s = 1$ ]

Đối với đặc tính nhân tạo có $R_f = 0,175\ \Omega$ ta có độ trượt tới hạn nhân tạo:

$$s_{th.nt} = s_{th}\frac{R_2 + R_f}{R_2} =$$

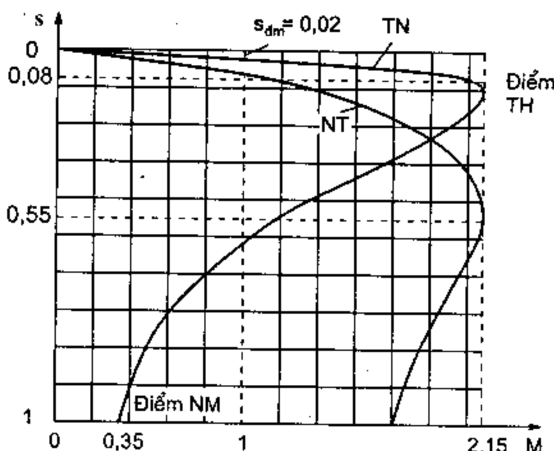
$$= 0,08.\frac{0,0295 + 0,175}{0,0295}$$

$$= 0,55$$

Phương trình đặc tính cơ nhân tạo sẽ là:

$$M^* = \frac{2\lambda}{\dfrac{s}{0,55} + \dfrac{0,55}{s}}$$

và đặc tính được vẽ trên cùng đồ thị hình 2-37.




*Hình 2 - 37. Dùng cho ví dụ 2 - 3*

* ***Ví dụ 2-4 :*** Hãy lựa chọn đặc tính cơ hãm động năng và xác định các thông số mạch hãm, gồm dòng điện một chiều $I_{mc}$ cấp vào cuộn dây stato và điện trở phụ $R_h$ nối vào mạch roto của động cơ không đồng bộ roto dây quấn sao cho momen hãm cực đại đạt được $M_{hmax} = 2,5M_{dm}$ và hiệu quả hãm cao. Số liệu cho trước: Động cơ 11kW ; 220V ; 953vg/ph, $\lambda = M_{th}/M_{dm} = 3,1$ ; $\cos\varphi_{dm} = 0,71$ ; $\cos\varphi_0$ (không tải) = 0,24 ; $I_{1dm}$=28,4A ; $I_{1.0}$(không tải)=19,2A; $R_1$=0,4,15Ω; $X_1$=0.465Ω ; $E_{2nm}$(điện áp dây)=200V ; $I_{2dm}$=35,4A ; $r_2$=0,132Ω ; $X_2$=0,27Ω; $K_e$=1,84.

***Giải :*** Trước hết, xác định thêm các thông số của động cơ:

Tốc độ định mức : $\omega_{dm} = \dfrac{n_{dm}}{9,55} = \dfrac{953}{9,55} = 99,8$ rad/s;

Tốc độ từ trường quay : $\omega_0$ = 1000/9,55=104,7rad/s;

Momen định mức : $M_{dm} = \dfrac{P_{dm}.1000}{\omega_{dm}} = \dfrac{11.1000}{99,8} = 110,2$N.m

Độ trượt định mức : $s_{dm} = (\omega_0 - \omega_{dm})/\omega_0 = \dfrac{104,7 - 99,8}{104,7} = 0,05$

Điện kháng mạch hoá $X_\mu$ được xác định theo sđđ và dòng điện không tải của stato (coi dòng không tải bằng dòng từ hoá):

$$X_\mu = \frac{E_{1.0}}{I_{1.0}} = \frac{212}{19,2} = 11,05\ \Omega \text{ (Với : } E_{1.0} = K_e.E_{2nmf} = 1,84.\frac{200}{\sqrt{3}} = 212\text{ V)}$$

Điện kháng roto quy đổi về stato: $X_2' = X_2.K_e^2 = 0{,}27.1{,}84^2 = 0{,}92\ \Omega$

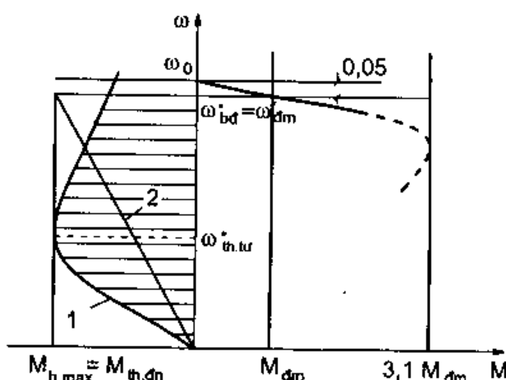
Theo yêu cầu của đề bài ta có thể chọn đặc tính hãm động năng có momen tới hạn là :

$$M_{th.dn} = M_{h.max} = 2{,}5M_{dm}$$

Tốc độ tới hạn $\omega_{th}^*$ có thể chọn bằng tốc độ hãm ban đầu : $\omega_{th}^* = \omega_{bd}^* = \omega_{dm}/\omega_0$.

Khi đó ta có đặc tính hãm là đường 2 trên hình 2-38. Rõ ràng đặc tính này có hiệu quả hãm thấp vì momen hãm giảm gần như tuyến tính từ tốc độ ban đầu $\omega_{bd} = \omega_{dm}$ cho đến $\omega = 0$.

Để cho việc hãm có hiệu quả cao, ta cần tạo ra một đặc tính cơ đảm bảo bao một diện tích lớn nhất giữa nó với trục tung của đồ thị (Vùng gạch sọc trên hình 2-38). Khi đó momen hãm trung bình trong toàn bộ quá trình hãm sẽ là lớn nhất.




*Hình 2 - 38. Đặc tính cơ tự nhiên và đặc tính cơ hãm lựa chọn cho ví dụ 2 -3*

Việc tính toán cho thấy đặc tính cơ dạng này có tốc độ tới hạn : $\omega_{th.tư}^* = 0{,}407$.

Vậy đặc tính cơ hãm động năng được chọn là đường 1 trên hình 2-38

Từ biểu thức của momen tới hạn hãm động năng (biểu thức 2-75) ta rút ra biểu thức tính dòng điện xoay chiều đẳng trị $I_1$:

$$I_1 = \sqrt{\frac{M_{th.ddn}.2\omega_0\left(X_\mu + X_2'\right)}{3X_\mu^2}} = \sqrt{\frac{2{,}5.110{,}2.2.104{,}7.\left(11{,}05 + 0{,}92\right)}{3.11{,}05^2}} = 43{,}4\ A$$

Qua hệ số tỷ lệ A của sơ đồ nối dây stato vào nguồn điện một chiều khi hãm, ví dụ chọn sơ đồ 1 trong bảng 2-1, ta có A = $\sqrt{2}/\sqrt{3}$ = 0,815, ta xác định được dòng điện một chiều cần thiết:

$$I_{mc} = \frac{I_1}{A} = 43{,}4/0{,}815 = 53A$$

Từ biểu thức của tốc độ tới hạn (2-74) ta xác định được giá trị điện trở trong mạch roto khi hãm:

$$R_{2t}' = \omega_{th}^*\left(X_\mu + X_2'\right) = 0{,}407(11{,}05+0{,}92) = 4{,}87\Omega$$

Tương ứng với giá trị trước khi quy đổi là :

$$R_{2t} = R'_{2t} / K_e^2 = 4,87/1,84^2 = 1,44\ \Omega$$

Vậy điện trở phụ cần nối vào mạch roto là:

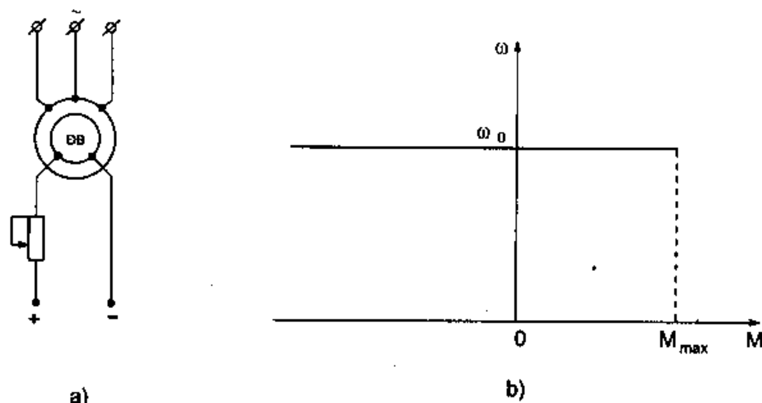
$$R_h = R_{2t} - r_2 = 1,44 - 0,132 = 1,308\Omega$$

## 2.5. CÁC ĐẶC TÍNH CÔNG TÁC CỦA ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Động cơ đồng bộ được sử dụng khá rộng rãi với những truyền động công suất trung bình và lớn, yêu cầu độ ổn định tốc độ cao. Nó thường dùng để truyền động các máy bơm, quạt gió, máy nén khí, các thiết bị của nhà máy luyện kim , giấy, xi măng, dùng làm động cơ sơ cấp trong các tổ máy phát có công suất lớn. So với các động cơ khác nó có ưu điểm là hệ số công suất cosφ hiệu suất và độ tin cậy trong vận hành cao.

Ngày nay, nhờ sự phát triển của kỹ thuật điện tử, khả năng điều khiển động cơ này đã được cải thiện, do đó phạm vi ứng dụng của nó được mở rộng đáng kể, không những ở tải công suất lớn nêu trên, mà cả ở các cơ cấu có công suất nhỏ và rất nhỏ như các cơ cấu ăn dao máy công cụ, tay máy, đồ chơi...

Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ được biểu diễn trên hình 2-39a.




*Hình 2 - 39. a) Sơ đồ nguyên lý của động cơ đồng bộ*
*b) Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ*

Sau đây ta khảo sát các đặc tính công tác của nó.

### 2.5.1. Đặc tính cơ của động cơ đồng bộ

Khi đóng stato của động cơ đồng bộ vào lưới điện xoay chiều có tần số $f_1$ không đổi, động cơ sẽ làm việc với tốc độ đồng bộ không phụ thuộc tải :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \qquad (2\text{-}77)$$

Như vậy đặc tính cơ của động cơ này trong phạm vi momen cho phép $M \le M_{max}$ là đường thẳng song song với trục hoành, với độ cứng $\beta = \infty$ và được biểu diễn trên hình 2-39b.

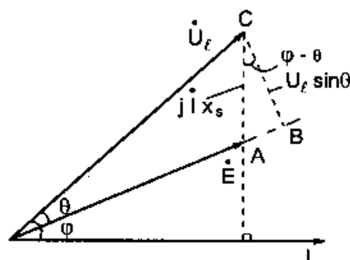
Tuy nhiên khi momen vượt quá trị số cực đại cho phép $M > M_{max}$ thì tốc độ động cơ sẽ lệch khỏi tốc độ đồng bộ.

### 2.5.2. Đặc tính góc của động cơ đồng bộ

Trong nghiên cứu tính toán hệ truyền động dùng động cơ đồng bộ, người ta sử dụng một đặc tính quan trọng là đặc tính góc. Nó là sự phụ thuộc giữa momen của động cơ với góc lệch giữa vectơ điện áp pha của lưới $U_l$ và vectơ sức điện động cảm ứng E trong dây quấn stato do từ trường một chiều của roto sinh ra :

$$M = f(\theta)$$

Đặc tính này được xây dựng bằng cách sử dụng đồ thị vectơ của mạch stato vẽ trên hình 2-40 với giả thiết bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây stato ($r_1 \approx 0$).




*Hình 2 - 40. Đồ thị vectơ của mạch stato của động cơ đồng bộ*

Trên đồ thị vectơ : $U_\ell$ - điện áp pha của lưới (V) ; E – sức điện động của pha stato (V) ; I – dòng điện stato (A); $x_s = x_\mu + x_1$ - điện kháng pha của stato là tổng của điện kháng mạch từ hoá $x_\mu$ và điện kháng cuộn dây 1pha của stato $x_1$ (Ω); θ - góc lệch giữa $U_\ell$ và E; φ - góc lệch giữa vectơ điện áp $U_\ell$ và dòng điện I.

Từ đồ thị vectơ ta có :

$$U_\ell \cos\varphi = E\cos(\varphi - \theta) \qquad (2\text{-}78)$$

Từ tam giác ABC tìm được:

$$\cos(\varphi - \theta) = \frac{CB}{CA} = \frac{U_\ell \sin\theta}{Ix_s} \qquad (2\text{-}79)$$

Thay (2-79) vào (2-78) ta được:

$$U_\ell \cos\varphi = E\frac{U_\ell \sin\theta}{Ix_s} \qquad (2\text{-}80)$$

Hay $$U_\ell I\cos\varphi = \frac{EU_\ell}{x_s}\sin\theta \qquad (2\text{-}81)$$

Vế trái của (2-81) là công suất của 1pha động cơ.

Vậy công suất 3 pha của động cơ:

$$P = 3\frac{EU_\ell}{x_s}\sin\theta \qquad (2\text{-}82)$$

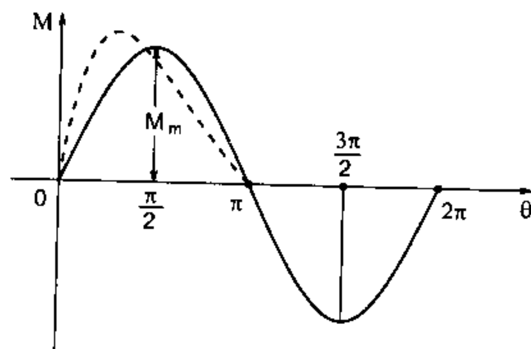
Momen của động cơ:

$$M = \frac{P}{\omega_0} = \frac{3EU_\ell}{\omega_0 x_s}\sin\theta \qquad (2\text{-}83)$$

(2-83) là phương trình đặc tính góc của động cơ đồng bộ. Theo đó ta có đặc tính góc là đường cong hình sin như trên hình 2-41

Khi $\theta = \frac{\pi}{2}$ ta có biên độ cực đại của hình sin là :

$$M_m = \frac{3EU_\ell}{\omega_0 x_s} \qquad (2\text{-}84)$$




*Hình 2 - 41. Đặc tính góc của động cơ đồng bộ*

Phương trình (2-83) có thể viết gọn hơn:

$$M = M_m \sin\theta \qquad (2\text{-}85)$$

$M_m$ đặc trưng cho khả năng quá tải của động cơ. Khi tải tăng góc lệch pha θ tăng. Nếu tải tăng quá mức $\theta > \frac{\pi}{2}$, momen giảm.

Động cơ đồng bộ thường làm việc định mức ở trị số của góc lệch $\theta = 20^0 \div 25^0$. Hệ số quá tải về momen tương ứng sẽ là :

$$\lambda_M = \frac{M_m}{M_{dm}} = 2 \div 2{,}5$$

Những điều đã phân tích ở trên chỉ đúng với những động cơ đồng bộ cực ẩn và momen chỉ xuất hiện khi roto có kích từ. Còn đối với những động cơ đồng bộ cực lồi, do sự phân bố khe hở không khí không đều giữa roto và stato nên trong máy xuất hiện momen phản kháng phụ. Do đó đặc tính góc có biến dạng ít nhiều, như đường nét đứt trên hình 2-41.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Có thể biểu thị phương trình đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập bằng mấy dạng ? Viết các dạng phương trình đó ? Giải thích các đại lượng trong phương trình và cách xác định các đại lượng, vẽ dạng đặc tính cơ điện và đặc tính cơ.

2. Đơn vị tương đối là gì ? Đơn vị tương đối của các đại lượng điện – cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập được xác định như thế nào ? Viết phương trình đặc tính cơ ở dạng đơn vị tương đối ? Ý nghĩa của việc sử dụng phương trình dạng đơn vị tương đối.

3. Độ cứng của đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập có biểu thức xác định như thế nào ? Giá trị tương đối của nó ? Biểu thị quan hệ giữa độ cứng với sai số tốc độ và điện trở mạch phần ứng (theo đơn vị tương đối). Ý nghĩa của độ cứng đặc tính cơ.

4. Cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên của động cơ một chiều kích từ độc lập? Cách xác định các đại lượng $M_{đm}$, $\omega_{đm}$, $\omega_0$, $I_{nm}$, $M_{nm}$, ... để vẽ đường đặc tính này.

5. Có những thông số nào ảnh hưởng đến dạng của đặc tính cơ động cơ một chiều kích từ độc lập ? Họ các đặc tính nhân tạo khi thay đổi thông số đó. Sơ đồ nối dây, phương trình đặc tính, dạng của các họ đặc tính nhân tạo, nhận xét về ứng dụng của chúng.

6. Động cơ điện một chiều kích từ độc lập có mấy phương pháp hãm. Điều kiện để xảy ra các trạng thái hãm? Sơ đồ nối dây động cơ để thực hiện trạng thái hãm ? ứng dụng thực tế của các trạng thái hãm ? Giải thích quan hệ về chiều tác dụng của các đại lượng điện và chiều truyền năng lượng trong hệ ở các trạng thái hãm.

7. Sự khác nhau giữa động cơ một chiều kích từ nối tiếp với động cơ một chiều kích từ độc lập về cấu tạo, từ thông, dạng đặc tính cơ, các phương pháp hãm ? Có nhận xét gì về đặc điểm và khả năng ứng dụng của động cơ kích từ nối tiếp trong thực tế ?

8. Có thể biểu thị phương trình đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ bằng những biểu thức nào ? Viết các phương trình đó, giải thích các đại lượng và cách xác định các đại lượng đó khi viết phương trình và dựng đặc tính cơ.

9. Cách vẽ đặc tính cơ tự nhiên theo phương trình viết với các thông số catalo: dạng chính xác, dạng gần đúng và dạng tuyến tính hoá.

10. Biểu thức xác định độ cứng của đường đặc tính cơ ? Biểu thị quan hệ giữa độ cứng đặc tính cơ với độ trượt định mức và điện trở mạch roto của động cơ không đồng bộ.

11. Có những thông số nào ảnh hưởng đến dạng đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ ? Cách nối dây động cơ để tạo ra đặc tính cơ nhân tạo khi thay đổi các thông số này ? Dạng các họ đặc tính cơ nhân tạo và ứng dụng thực tế của chúng ?

12. Động cơ không đồng bộ có mấy trạng thái hãm ? Cách nối dây động cơ để thực hiện trạng thái hãm và điều kiện để xảy ra hãm ? Giải thích quan hệ năng lượng giữa máy sản xuất và động cơ ở từng trạng thái hãm ? Ứng dụng thực tế của các trạng thái hãm.

13. Giải thích ý nghĩa của đặc tính cơ và đặc tính góc của động cơ đồng bộ. Sự phụ thuộc giữa momen cực đại của động cơ với điện áp lưới? Momen cực đại ở đặc tính góc có ý nghĩa như thế nào với đặc tính cơ của động cơ này ?

# *Chương III*

# ĐIỀU CHỈNH CÁC THÔNG SỐ ĐẦU RA CỦA TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

## 3.1. KHÁI NIỆM CHUNG

### 3.1.1. Các định nghĩa

Như đã biết, hệ truyền động điện không chỉ làm nhiệm vụ biến đổi điện năng thành cơ năng, mà còn điều khiển quá trình làm việc của cơ cấu công tác theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất. Yêu cầu công nghệ có thể được đảm bảo nếu hệ có khả năng đặt trước các thông số gia công cho từng công đoạn, duy trì các thông số đó ở một độ chính xác nào đó (như tốc độ, momen, gia tốc, vị trí của cơ cấu công tác ...) cưỡng bức thay đổi các giá trị đó theo ý muốn, hạn chế giá trị của chúng theo mức cho phép của quá trình công nghệ hoặc theo khả năng về độ bền, độ quá tải của máy.

Các thông số gia công nói trên liên quan đến momen M và tốc độ ω của động cơ điện.

Để thấy rõ mối quan hệ giữa các thông số trên ta có một số định nghĩa sau :

***a) Thông số đầu ra*** hay còn gọi là *thông số được điều chỉnh* là momen (M) và tốc độ (ω) của động cơ.

Do M, ω là 2 trục của mặt phẳng toạ độ đặc tính cơ [M. ω], nên việc điều chỉnh chúng thường được gọi là "***điều chỉnh toạ độ***".

***b) Thông số đầu vào*** hay còn gọi là *thông số điều chỉnh.*

- Đối với động cơ điện một chiều thông số đầu vào là điện trở phần ứng $R_ư$ (hoặc $R_{fư}$), từ thông Φ (hoặc điện áp kích từ $U_{kt}$ ; dòng điện kích từ $I_{kt}$ )và điện áp phần ứng $U_ư$.

- Đối với động cơ không đồng bộ, thông số đầu vào là điện trở mạch roto $R_2$ (hoặc $R_{f2}$), điện trở mạch stato $R_1$, điện kháng stato $x_1$, điện áp stato $U_t$ và tần số của dòng điện stato $f_1$.

- Đối với động cơ đồng bộ, thông số đầu vào là tần số của dòng điện stato f.

***c) Phần tử điều khiển*** là các thiết bị hoặc dụng cụ làm thay đổi các thông số đầu vào.

Chú ý, người ta thường gọi việc điều chỉnh các thông số đầu ra là "điều khiển động cơ điện".

### 3.1.2. Mục đích điều chỉnh các thông số đầu ra của động cơ

Tuỳ theo yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, việc điều chỉnh toạ độ động cơ nhằm thực hiện các mục đích sau :

- Đặt giá trị làm việc và duy trì mức đặt đó, ví dụ duy trì tốc độ làm việc khi phụ tải thay đổi ngẫu nhiên.

- Thay đổi thông số theo quy luật yêu cầu, ví dụ : trong thời gian khởi động và tăng tốc động cơ thang máy từ 0 lên đến tốc độ ổn định, momen lúc đầu phải tăng tuyến tính theo thời gian, sau đó giữ không đổi, và cuối cùng giảm tuyến tính cho đến $M = M_c$.

- Hạn chế thông số ở một mức độ cho phép, ví dụ hạn chế dòng điện khởi động.

- Tạo ra một quy luật chuyển động cho cơ cấu công tác (tức cho trục động cơ) theo quy luật cho trước ở đầu vào với một độ chính xác nào đó.

Trong phạm vi giáo trình này ta chú trọng khảo sát mục đích thứ nhất và thứ ba, riêng mục đích thứ tư thường được đề cập trong các tài liệu chuyên khảo về điều khiển tự động (các hệ điều khiển tuỳ động và điều khiển chương trình), còn mục đích thứ hai liên quan nhiều đến việc tạo hình các quá trình quá độ.

### 3.1.3. Điều chỉnh không tự động và điều chỉnh tự động

***a) Điều chỉnh không tự động toạ độ*** động cơ là việc làm thay đổi thông số đầu ra bằng cách tác động lên thông số đầu vào một cách rời rạc. Mỗi lần tác động ta có một giá trị không đổi của thông số đầu vào và tương ứng ta được một đường đặc tính cơ (nhân tạo). Khi động cơ làm việc, các nhiễu loạn sẽ tác động vào hệ (như phụ tải thay đổi, điện áp nguồn dao động ...). Nhưng thông số đầu vào vẫn giữ không đổi nên điểm làm việc của động cơ chỉ di chuyển trên một đường đặc tính cơ. Người ta gọi dạng điều chỉnh này là "điều chỉnh bằng tay" hoặc "điều chỉnh không tự động" hoặc "điều chỉnh vòng hở". Phương pháp điều chỉnh này đơn giản nên vẫn được dùng trong các hệ truyền động điện hiện đại, tuy nhiên nó không đảm bảo được các yêu cầu cao về chế độ công nghệ.

***b) Điều chỉnh tự động toạ độ*** động cơ được thực hiện nhờ sự thay đổi liên tục của thông số đầu vào theo mức độ sai lệch của thông số đầu ra so với giá trị định trước, nhằm khắc phục độ sai lệch đó. Như vậy khi có tác động của nhiễu làm ảnh hưởng đến thông số đầu ra, thì thông số đầu vào sẽ thay đổi và động cơ sẽ có một đường đặc tính cơ khác, điểm làm việc của động cơ sẽ dịch chuyển từ đường đặc tính nhân tạo này sang đặc tính nhân tạo khác và vạch ra một đường đặc tính cơ của hệ điều chỉnh tự động.

Vì vậy ta đưa ra định nghĩa : "*Đặc tính cơ của hệ điều chỉnh tự động là quỹ tích của điểm làm việc của động cơ trên vô số các đặc tính cơ của hệ điều chỉnh vòng hở*".

Việc thay đổi tự động thông số đầu vào được thực hiện nhờ mạch phản hồi, mạch này lấy tín hiệu từ thông số đầu ra hoặc một thông số nào đó liên quan đến đầu ra, đưa trở lại gây tác động lên thông số đầu vào, tạo thành một hệ có liên hệ kín giữa đầu ra và đầu vào. Vì vậy người ta gọi hệ này là hệ "*điều chỉnh vòng kín*". Hệ điều chỉnh tự động tuy phức tạp nhưng đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng cao.

### 3.1.4. Nhiễu của các thông số đầu ra

Đối với các hệ truyền động và động cơ điện, có hai thông số đầu ra chủ yếu là momen và tốc độ. Có nhiều loại nhiễu gây tác động lên các thông số này như điện áp nguồn, tần số lưới điện, nhiệt độ môi trường, hệ số tự cảm của cuộn dây, ... nhưng ta cần quan tâm đến các tác động nhiễu loạn chủ yếu.

Khi điều chỉnh tốc độ, thông số được điều chỉnh là ω, thông số điều chỉnh là một trong các thông số tạo ra đặc tính nhân tạo, còn nhiễu chủ yếu là phụ tải biểu thị bằng momen cản $M_c$ hoặc dòng điện tải tương ứng $I_c$.

Ngược lại, khi điều chỉnh momen hoặc dòng điện, thông số được điều chỉnh là M hoặc I, thì nhiễu chủ yếu lại là tốc độ ω. Sự ảnh hưởng qua lại giữa hai đại lượng M và ω được thể hiện bằng đường đặc tính cơ và phương trình của nó.

## 3.2. CÁC CHỈ TIÊU CHẤT LƯỢNG

Bất kỳ điều chỉnh thông số nào, người ta cũng dựa vào các chỉ tiêu chất lượng chủ yếu sau đây để đánh giá :

### 3.2.1. Độ chính xác duy trì giá trị đặt

Từ yêu cầu công nghệ, người ta định trước giá trị mong muốn cho thông số đầu ra X, gọi là giá trị đặt $X_d$. Tuy nhiên, khi động cơ làm việc, do tác động của nhiễu, giá trị của thông số này bị thay đổi, lệch khỏi giá trị đặt. Độ chính xác điều chỉnh được đánh giá bởi sai số cực đại của thông số được điều chỉnh $\Delta X_{max}$

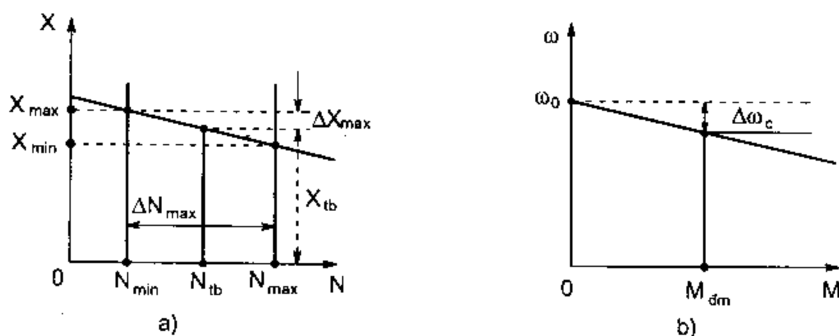
so với giá trị trung bình $X_{tb}$ trong phạm vi biến động cho phép của nhiễu từ $N_{min}$ đến $N_{max}$.

$$S\% = \frac{\Delta X_{max}}{X_{tb}}.100\% \qquad (3\text{-}1)$$

Trong đó : $\Delta X_{max} = \dfrac{X_{max} - X_{min}}{2}$

$$X_{tb} = \frac{X_{max} + X_{min}}{2}$$

$X_{max}$ , $X_{min}$ – giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của thông số được điều chỉnh trong phạm vi biến động của nhiễu và thường lấy bằng một lần định mức của đại lượng nhiễu.




*Hình 3 - 1. Cách xác định S%*

Khi điều chỉnh tốc độ, để cho đơn giản trong tính toán người ta thường lấy tốc độ không tải lí tưởng $\omega_0$ thay cho $X_{tb}$ và lấy độ sụt tốc $\Delta\omega_c$ ứng với phạm vi thay đổi của momen (nhiễu) từ 0 đến $M_{dm}$ để thay cho $\Delta X_{max}$, khi đó :

$$S\% = \frac{\Delta\omega_c}{\omega_0}.100\% = \Delta\omega_c^*\% = \frac{1}{\beta^*} \qquad (3\text{-}2)$$

Sai số này càng nhỏ, điều chỉnh càng chính xác, và lí tưởng ta có hệ điều chỉnh tuyệt đối chính xác khi S% = 0. Thực tế người ta phải thiết kế các hệ có độ chính xác đáp ứng yêu cầu công nghệ của máy sản xuất, chẳng hạn truyền động chính của máy cắt kim loại yêu cầu S% ≤ 10%, truyền động ăn dao : S% ≤ 5%...

Cách xác định S% được giải thích trên hình 3-1, trong đó hình 3-1a dùng cho trường hợp chung còn hình 3-1b dùng cho trường hợp điều chỉnh tốc độ.

### 3.2.2. Dải điều chỉnh

Dải điều chỉnh (hay còn gọi là phạm vi điều chỉnh $D_x$) của một thông số X nào đó là tỷ số giữa giá trị lớn nhất $X_{max}$ và nhỏ nhất $X_{min}$ của thông số đó trong cùng một điều kiện làm việc ( ví dụ cùng một giá trị nhiễu loạn) :

$$D_X = \frac{X_{max}}{X_{min}} \qquad (3\text{-}3)$$

$D_X$ càng lớn càng tốt. Tuy nhiên giá trị $X_{max}$ thường bị giới hạn bởi khả năng về độ bền của các chi tiết máy về cơ và về điện, còn $X_{min}$ thường bị hạn chế bởi độ chính xác điều chỉnh cho phép và khả năng làm việc ổn định của hệ thống ở chế độ tương ứng với tốc độ hoặc momen nhỏ.

Thực tế khi đánh giá hoặc thiết kế hệ thống về chỉ tiêu này, người ta phải căn cứ vào yêu cầu của máy sản xuất, ví dụ máy cán thép thường yêu cầu dải điều chỉnh tốc độ $D_\omega$ đến 50:1, máy cắt gọt kim loại có thể yêu cầu đến 100:1. Trường hợp máy yêu cầu dải điều chỉnh lớn, vượt quá khả năng đáp ứng của các phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ, người ta phải kết hợp với phương pháp điều chỉnh cơ khí nhờ sử dụng một hộp tốc độ. Cũng có trường hợp phối hợp hai phương pháp điều chỉnh bằng điện, ví dụ đối với động cơ điện một chiều ta phối hợp phương pháp điều chỉnh bằng điện áp phần ứng từ $\omega_{min} \div \omega_{dm}$ và phương pháp điều chỉnh từ thông từ $\omega_{dm} \div \omega_{max}$. Khi đó ta có "hệ điều chỉnh hai vùng" và đạt được dải điều chỉnh rộng :

$$D = \frac{\omega_{dm}}{\omega_{min}} \frac{\omega_{max}}{\omega_{dm}} = D_u\, D_\Phi \qquad (3\text{-}4)$$

### 3.2.3. Độ tinh điều chỉnh

Việc điều chỉnh là tinh hay thô phụ thuộc vào số cấp giá trị đặt của thông số được điều chỉnh trong toàn bộ dải điều chỉnh. Người ta đánh giá độ tinh thông qua hệ số φ - là tỷ số giá trị đặt của hai cấp liền kề của thông số được điều chỉnh.

$$\varphi = \frac{X_i}{X_{i-1}} \ (\varphi > 1) \qquad (3\text{-}5)$$

Hệ số φ càng nhỏ càng tốt, và lí tưởng là $\varphi \to 1$, khi đó ta có hệ điều chỉnh vô cấp. Thực tế độ tinh phụ thuộc vào vị trí của phần tử điều chỉnh trong mạch điện. Nếu phần tử điều chỉnh đặt ở mạch công suất lớn (dòng điện mạnh) thì chỉ có thể điều chỉnh có cấp (thô), ví dụ phương pháp điều chỉnh động cơ một chiều bằng điện trở phụ mạch phần ứng, với biến trở điều chỉnh đặt trong mạch phần ứng. Công suất mạch điều chỉnh càng nhỏ thì điều chỉnh càng tinh.

### 3.2.4. Mức độ phù hợp giữa đặc tính tải cho phép của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất

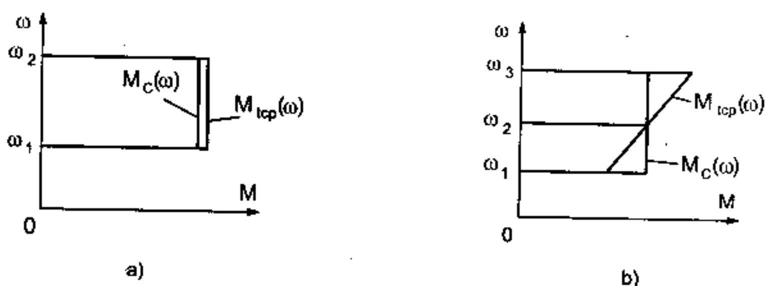
Ba chỉ tiêu nêu trên dùng cho thông số được điều chỉnh là tốc độ, momen hoặc dòng điện. Riêng điều chỉnh tốc độ, ta cần quan tâm thêm đến chỉ tiêu thứ tư này.

***Ta có định nghĩa :*** *Momen tải cho phép của một động cơ ở một tốc độ làm việc nào đó là momen do động cơ sinh ra khi cho dòng điện trong mạch chính bằng* $I_{dm}$.

Như vậy, nếu động cơ làm việc ở tốc độ định mức thì momen tải cho phép của nó $M_{tcp} = M_{dm}$. Khi điều chỉnh, tốc độ làm việc có thể thay đổi, do đó $M_{tcp}$ có thể bằng hoặc khác với định mức, và nói chung nó phụ thuộc tốc độ. Hàm số $M_{tcp} = f(\omega)$ gọi là *đặc tính tải cho phép của động cơ.*

Mỗi hệ truyền động và mỗi phương pháp điều chỉnh tốc độ có một dạng đặc tính $M_{tcp} = f(\omega)$ tương ứng, ví dụ $M_{tcp} = const$ ; $M_{tcp} = \frac{A}{\omega}$ ; $M_{tcp} = \frac{A}{\omega_0 - \omega}$ (A là hằng số).

Một hệ truyền động điều chỉnh được coi là tốt nếu đặc tính tải cho phép của động cơ $M_{tcp} = f(\omega)$ bám sát (phù hợp) với đặc tính cơ của máy sản xuất $M_c = f(\omega)$. Trường hợp lí tưởng là hai đặc tính này trùng nhau. Khi đó trong toàn bộ dải điều chỉnh tốc độ động cơ đều làm việc với $I = I_{dm}$.




***Hình 3 - 2.*** *Mức độ phù hợp giữa đặc tính tải cho phép của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất.* *a)* $M_{tcp}$ *trùng với* $M_c$ ; *b)* $M_{tcp}$ *không trùng với* $M_c$

Trên hình 3-2 đưa ra hai ví dụ:

***a/*** Khi $M_{tcp} = f(\omega)$ trùng với $M_c = f(\omega)$ như trường hợp lí tưởng đã nêu ;

***b/*** Khi hai đặc tính này không phù hợp với nhau, khi đó động cơ chỉ làm việc tốt (với $I = I_{dm}$) tại một tốc độ ($\omega_2$); trong vùng từ $\omega_2 \div \omega_3$, $M_c < M_{tcp}$ nên động cơ làm việc nhẹ tải gây lãng phí, còn trong vùng từ $\omega_1 \div \omega_2$ , $M_c > M_{tcp}$ nên động cơ bị quá tải, $I > I_{dm}$ và sẽ gây hư hỏng cho động cơ.

### 3.2.5. Tính kinh tế của hệ điều chỉnh

Tính kinh tế có ý nghĩa rất quan trọng. Nhiều trường hợp nó là chỉ tiêu quyết định sự lựa chọn phương án truyền động điện. Tính kinh tế được tổng hợp từ nhiều chỉ tiêu liên quan như : vốn đầu tư ban đầu ; chi phí vận hành bảo quản và thay thế thiết bị ; độ tin cậy và tuổi thọ; tổn hao năng lượng trong hệ khi điều chỉnh ; năng suất của máy sản xuất do hệ điều chỉnh mang lại.

Việc tính toán cụ thể các chỉ tiêu liên quan nêu trên sẽ cho thấy hiệu quả kinh tế, thời gian hoàn vốn và lợi ích nhờ việc sử dụng hệ điều chỉnh đã chọn. Thường người ta căn cứ các chỉ tiêu kỹ thuật để đề xuất vài phương án điều chỉnh, sau đó tính toán kinh tế để so sánh hiệu quả và quyết định chọn hệ thống hoặc phương pháp điều chỉnh toạ độ động cơ điện.

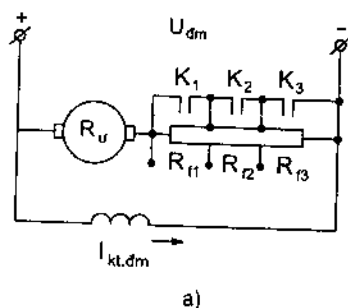
## 3.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐIỆN MỘT CHIỀU

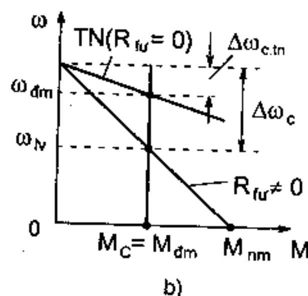
Điều khiển động cơ điện được thể hiện cụ thể bằng việc điều chỉnh các toạ độ của nó. Thực chất của việc điều chỉnh các toạ độ lại chính là làm biến dạng các đặc tính cơ, nghĩa là tạo ra các đặc tính nhân tạo. Vì vậy các phương pháp điều khiển động cơ cũng chính là các phương pháp tạo ra đặc tính nhân tạo đã đề cập trong chương II.

Đối với các loại động cơ điện một chiều, ta có ba phương pháp điều khiển: Điều khiển bằng điện trở phụ mạch phần ứng $R_{fu}$, điều khiển bằng từ thông kích thích $\Phi$ và điều khiển bằng điện áp phần ứng $U_u$. Ngoài ra trong một số trường hợp riêng người ta còn dùng các sơ đồ đặc biệt để điều chỉnh momen hoặc tốc độ.

### 3.3.1. Điều khiển bằng điện trở phụ trong mạch phần ứng

Sơ đồ nguyên lý và các đặc tính điều chỉnh $\omega = f(M)$, $\omega = f(I_u)$, nêu trên hình 3-3.




*Hình 3 - 3. Điều khiển động cơ một chiều kích từ song song bằng phương pháp dùng điện trở phụ mạch phần ứng*

Ở đây ta sử dụng một điện trở phụ có ba cấp (ba đoạn) $R_{f1}$, $R_{f2}$, $R_{f3}$ và các tiếp điểm công tắc tơ $K_1$, $K_2$, $K_3$ song song với các đoạn điện trở.

Phương trình các đặc tính đã được trình bày ở biểu thức (2-25), (2-26), cụ thể là :

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_{ut}}{K\Phi_{dm}} I_u = \omega_0 - \frac{R_{ut}}{K\Phi_{dm}} I_u \qquad (3\text{-}6)$$

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_{ut}}{(K\Phi_{dm})^2} M = \omega_0 - \frac{1}{\beta_r} M \qquad (3\text{-}7)$$

Trong đó, $R_{ut} = R_u + R_{fu}$ - điện trở tổng của mạch phần ứng ($R_u$ - điện trở phần ứng động cơ; $R_{fu}$ - điện trở phụ đưa vào mạch phần ứng) ;

$\beta_r$ - độ cứng đặc tính cơ nhân tạo biến trở.

Khi cho $R_{fu}$ thay đổi ta sẽ làm thay đổi độ cứng đặc tính cơ (còn tốc độ không tải lí tưởng không thay đổi) do đó có thể điều chỉnh được cả tốc độ, dòng điện và momen của động cơ.

Phương pháp này đơn giản, điều chỉnh được cả ba thông số đầu ra của động cơ, nhưng có nhiều nhược điểm vì phần tử điều chỉnh ($R_{uf}$) đặt trong mạch lực và độ cứng đặc tính điều chỉnh thấp (tỷ lệ nghịch với điện trở mạch phần ứng) :

$$\beta_r = \frac{(K\Phi_{dm})^2}{R_u + R_{fu}}, \ \beta_r^* = \frac{1}{R_{ut}^*} \qquad (3\text{-}8)$$

Sau đây ta xét các ứng dụng của nó.

***a) Ứng dụng điều chỉnh tốc độ***

Khi cho $R_{fu}$ vào mạch, ta tạo ra được tốc độ làm việc thấp hơn định mức ($\omega_{lv} < \omega_{dm}$). Nếu cho trước yêu cầu tốc độ làm việc $\omega_{lv}$ ứng với momen phụ tải $M_c$ nào đó, ta có thể xác định được giá trị điện trở phụ $R_{fu}$ cần nối vào mạch. Thực vậy, thay $\omega = \omega_{lv}$ và $M = M_c$ đã cho vào biểu thức (3-7), ta rút ra:

$$R_{fu} = \frac{(U_{dm} - K\Phi_{dm}\omega_{lv})K\Phi_{dm}}{M_C} - R_u \qquad (3\text{-}9)$$

Tốc độ cực đại trong dải điều chỉnh nếu xét với tải định mức là :

$$\omega_{max} = \omega_{dm} = \omega_0 - M_{dm}/\beta_{tn}, \text{ hoặc } \omega_{max}^* = 1 - \frac{1}{\beta_{tn}^*}$$

Trong đó : $\beta_{tn}$ - độ cứng đặc tính cơ tự nhiên.

Tốc độ cực tiểu có thể xác định theo khả năng quá tải của động cơ hoặc theo sai số tốc độ cho phép.

Về khả năng quá tải, đòi hỏi momen ngắn mạch nhỏ nhất của động cơ $M_{nm.min}$ phải lớn hơn momen cản lớn nhất có thể xuất hiện trong quá trình làm việc ($M_{cmax}$) :

$$M_{nm.min} \geq M_{c.max}$$

Trong đó : $M_{c.max} = K_{qt}.M_{đm}$

$K_{qt}$ - hệ số quá tải của máy sản xuất, là số liệu cho trước.

Từ nguyên lý điều chỉnh ta thấy $M_{nm.min}$ chính là momen ngắn mạch trên đường đặc tính thấp nhất, ứng với cấp điều chỉnh $\omega_{min}$ với độ cứng $\beta_{min}$. Từ hình 3-4 ta có:

$$\omega_{min} = \omega_0 - \frac{M_{đm}}{\beta_{min}} \text{, hoặc } \omega^*_{min} = 1 - \frac{1}{\beta^*_{min}} \quad (3\text{-}10)$$

Vậy dải điều chỉnh tốc độ xác định theo hệ số quá tải yêu cầu sẽ là:

$$D = \omega_{max}/\omega_{min} = \frac{\left(\beta^*_{tn} - 1\right)}{(\beta^*_{min} - 1)} \cdot \frac{\beta^*_{min}}{\beta^*_{tn}} \quad (3\text{-}11)$$

Trong đó: $\beta_{min} = \frac{\Delta M}{\Delta\omega} = \frac{M_{nm.min}}{\omega_0} = \frac{K_{qt}.M_{đm}}{\omega_0}$

$$\text{hoặc } \beta^*_{min} = K_{qt} \quad (3\text{-}12)$$

* ***Ví dụ 3-1 :*** Xác định tốc độ cực tiểu và dải điều chỉnh theo khả năng quá tải yêu cầu. Cho biết hệ số quá tải $K_{qt} = 2$ ; động cơ một chiều kích từ độc lập có công suất định mức $P_{đm} = 29kW$, $n_{đm} = 1000$ vg/ph ; $U_{đm} = 220V$ ; $I_{đm} = 151A$; $R_ư = 0,07\Omega$.

***Giải :*** Điện trở định mức động cơ : $R_{đm} = U_{đm}/I_{đm} = 220V/151A = 1,45\Omega$.

Giá trị tương đối của điện trở phần ứng :

$$R_ư^* = R_ư/R_{đm} = 0,07\Omega/1.45\Omega = 0,048$$

Độ cứng của đặc tính cơ tự nhiên : $\beta_{tn}^* = 1/R_ư^* = 20,8$

Độ cứng của đặc tính cơ thấp nhất $\beta_{min}^* = K_{qt} = 2$

Giá trị tương đối của tốc độ cực đại , tức tốc độ định mức của động cơ sẽ là:

$$n^*_{max} = \omega^*_{max} = \frac{\omega_{đm}}{\omega_0} = \frac{n_{đm}}{n_0} = 1 - \frac{1}{\beta^*} = 1 - R^*_ư = 1 - 0,048 = 0,0952$$

Tốc độ không tải lí tưởng :

$$n_0 = n_{dm}/\ n^*_{dm} = \frac{1000vg/ph}{0,0952} = 1050vg/ph$$

Giá trị tương đối của tốc độ cực tiểu:

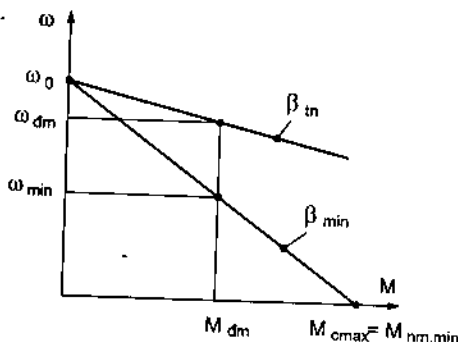
$$n^*_{min} = \omega^*_{min} = 1 - \frac{1}{\beta^*_{min}} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

Vậy tốc độ quay cực tiểu của động cơ là:

$$n_{min} = n^*_{min} \cdot n_0 = 0,5.1050\ vg/ph$$
$$= 525\ vg/ph.$$

Từ giá trị của tốc độ cực đại và tốc độ cực tiểu ta rút ra dải điều chỉnh tốc độ :

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1000}{525} = 1,9$$




*Hình 3 - 4. Giải thích về dải điều chỉnh tốc độ theo khả năng quá tải yêu cầu*

Từ biểu thức (3-11) thay $\beta^*_{min} = K_{qt} = 2,\ \beta^*_{tn} = 20,8$ ta cũng được kết quả $D = 1,9$.

*Ví dụ trên cho thấy dải điều chỉnh như vậy là rất hẹp.*

Tuy nhiên, nếu xét theo yêu cầu về sai số tốc độ cho phép thì dải điều chỉnh còn hẹp hơn nữa hoặc thậm chí còn không thể điều chỉnh được tốc độ. Thực vậy, ta biết :

$$s\% = \Delta\omega^*_c = R^*_{ut} \qquad (3\text{-}13)$$

Vậy nếu cho trước sai số tốc độ cho phép $s\%_{cp}$ thì ta có thể xác định được tốc độ làm việc thấp nhất $\omega^*_{min}$ :

$$\omega_{min} = \omega_0 - \Delta\omega_{c.cp} \qquad (3\text{-}14)$$

hoặc
$$\omega^*_{min} = 1 - s\%_{cp} = 1 - R^*_{ut} \qquad (3\text{-}15)$$

Trong đó, $R_{ut} = R_{ut}/R_{dm}$

Dải điều chỉnh tốc độ xét theo $s\%_{cp}$ sẽ là:

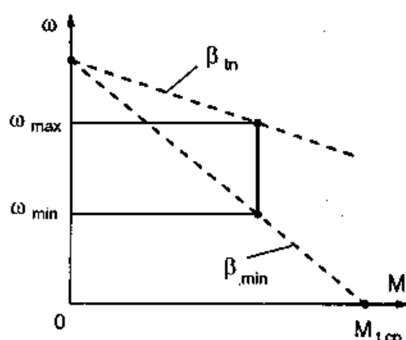
$$D = \frac{\omega_{max}}{\omega_{min}} = \frac{\omega^*_{dm}}{\omega^*_{min}} = \frac{1 - R^*_u}{1 - R^*_{ut}} = \frac{1 - 1/\beta^*_{tn}}{1 - s\%_{cp}} = \frac{(\beta^*_{tn} - 1)}{\beta^*_{tn}\left(1 - s\%_{cp}\right)} \qquad (3\text{-}16)$$

Ở ví dụ trên, nếu yêu cầu $s\%_{cp} = 10\%$ thì $D = 1,05 \approx 1$ nghĩa là hầu như không thể điều chỉnh được.

Đặc tính momen tải cho phép $M_{t.cp} = f(\omega)$ khi điều chỉnh tốc độ bằng điện trở phụ mạch phần ứng được xác định từ biểu thức momen của động cơ: $M = K\Phi I_ư$. Nếu thay $I_ư = I_{đm}$ ta sẽ được $M = M_{t.cp}$ (theo định nghĩa của momen tải cho phép) :

$$M_{t.cp} = K\Phi_{đm}I_{đm} = M_{đm} = const \quad (3\text{-}17)$$

Như vậy phương pháp này có momen tải cho phép của động cơ không đổi, không phụ thuộc tốc độ điều chỉnh (hình 3-5). Đặc tính này phù hợp với loại tải cần trục $M_c$ = const.




*Hình 3 - 5. Đặc tính momen tải cho phép của động cơ một chiều khi điều chỉnh bằng điện trở phụ trong mạch phần ứng*

***b) Ứng dụng điều chỉnh dòng điện và momen trong quá trình khởi động và tăng tốc***

Đối với động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi nối vào nguồn điện áp không đổi $U_{đm}$ và không có điện trở phụ, nếu tốc độ ω = 0 (khi khởi động hoặc ngắn mạch), thì vì $R_ư$ có giá trị rất nhỏ ($R_ư^* \approx 0,04 \div 0,05$) nên dòng điện ngắn mạch (dòng khởi động) và momen tương ứng sẽ có giá trị rất lớn (xem biểu thức 2-18 và 2-19) :

$$I_{nm} = \frac{U_{đm}}{R_ư} = (20 \div 25)I_{đm} \quad (3\text{-}18)$$

$$M_{nm} = K\Phi_{đm}I_{nm} = (20 \div 25)M_{đm} \quad (3\text{-}19)$$

Các giá trị này là không cho phép đối với điều kiện chuyển mạch trên cổ góp của động cơ, điều kiện phát nóng động cơ cũng như độ bền cơ học của các chi tiết máy.

Để hạn chế $I_{nm}$ và $M_{nm}$ khi khởi động người ta ứng dụng phương pháp điều chỉnh dòng điện và momen bằng điện trở phụ $R_{fư}$, và thường dùng một bộ điện trở 3 ÷ 5 đoạn như đã vẽ trên hình 3-3a, mỗi đoạn có một tiếp điểm công tắc tơ nối ngắn mạch khi cần thiết. Sau đây ta mô tả một quá trình điều chỉnh dòng điện và momen khởi động động cơ kích từ song song bằng biến trở 3 cấp như trên hình 3-3.

Lúc bắt đầu khởi động, ω = 0 , toàn bộ 3 đoạn điện trở phụ được đưa vào mạch, nên điện trở phụ là lớn nhất và động cơ sẽ làm việc trên đặc tính nhân tạo cấp 3 thấp nhất với điện trở tổng :

$$R_{ưt3} = R_ư + R_{f1} + R_{f2} + R_{f3} \quad (3\text{-}20)$$

Điện trở này phải đảm bảo sao cho dòng điện khởi động ban đầu không vượt quá giới hạn cho phép:

$$I_{kđo} = \frac{U_{đm}}{R_{ưt3}} = I_1 \leq (2 \div 2{,}5)I_{đm} \qquad (3\text{-}21)$$

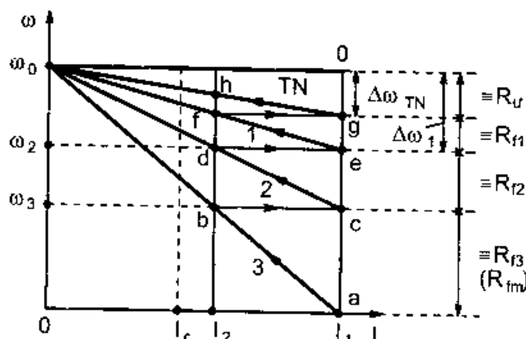
Với dòng điện khởi động này, động cơ sẽ tăng tốc. Khi tốc độ tăng lên, sđđ E của động cơ tăng theo, nên dòng $I_ư$ giảm dần theo đặc tính 3 trên hình 3-6. Khi dòng điện giảm đến $I_ư = I_2$ với :

$$I_2 \geq (1{,}1 \div 1{,}3)I_c \qquad (3\text{-}22)$$

ứng với tốc độ $\omega_3$ (trên hình vẽ), người ta cho tiếp điểm $K_3$ (hình 3-3) đóng lại, loại đoạn điện trở $R_{f3}$, điện trở phụ trong mạch giảm xuống, và điện trở tổng trong mạch còn $R_{ưt2}$ :

$$R_{ưt2} = R_ư + R_{f1} + R_{f2} \qquad (3\text{-}23)$$

Điểm làm việc của động cơ sẽ chuyển từ điểm b sang điểm c trên đường đặc tính nhân tạo cấp 2 (đường 2 hình 3-6). Chú ý rằng việc tính toán giá trị đoạn điện trở $R_{f3}$ phải hợp lý để cho điểm c phải nằm đúng trên đường dóng $I_1$, nghĩa là khi loại bỏ đoạn điện trở này thì dòng điện động cơ lại tăng từ $I_2$ lên đúng bằng $I_1$, còn tốc độ thì do quán tính cơ học nên vẫn giữ giá trị $\omega_3$.




*Hình 3 - 6. Xác định điện trở khởi động cho động cơ một chiều (kích từ song song)*

Quá trình tăng tốc lại tiếp tục trên đặc tính số 2 và khi $I_ư = I_2$ lại xảy ra việc loại bỏ đoạn điện trở $R_{f2}$,.... Cuối cùng ta được họ đặc tính khởi động ba cấp với ba đường đặc tính nhân tạo và một đường đặc tính tự nhiên như hình 3-6.

Dựa vào biểu thức của độ sụt tốc $\Delta\omega$ (2-11), với dòng điện $I_1$ ta thấy :

$$\Delta\omega_{TN} = \frac{R_ư}{K\Phi_{đm}}.I_1 = og$$

$$\Delta\omega_1 = \frac{R_ư + R_{f1}}{K\Phi_{đm}} I_1 = oe$$

Lập tỷ số $$\frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_{TN}} = \frac{R_ư + R_{f1}}{R_ư} = \frac{oe}{og}$$

$$\left.\begin{aligned} &\text{Do đó} \qquad R_{f1} = \frac{\Delta\omega_1 - \Delta\omega_{TN}}{\Delta\omega_{TN}} R_ư = \frac{oe - og}{og}.R_ư = \frac{eg}{og}.R_ư \\ &\text{Tương tự} \qquad R_{f2} = \frac{dc - oe}{og}.R_ư = \frac{ce}{og}.R_ư \\ &\qquad\qquad\quad R_{f3} = \frac{oa - oc}{og}.R_ư = \frac{ac}{og}.R_ư \end{aligned}\right\} \quad (3\text{-}24)$$

Như vậy, khi đã có đặc tính cơ tự nhiên và đã biết giá trị $R_ư$, bằng cách chọn sơ bộ giá trị $I_1$ và $I_2$ trong giới hạn (3-21) và (3-22), ta có thể xê dịch các giá trị đó sao cho có được họ đặc tính khởi động với những đường dóng ngang dọc như trên hình 3-6, đo các đoạn thẳng og, eg, ce, ac... ta sẽ xác định được các cấp điện trở phụ theo (3-24).

Ta có nhận xét rằng các đoạn sụt tốc (đo trên trục bằng mm) tỷ lệ với các đoạn điện trở phụ. Điện trở tổng $R_{ưt}$ của các đặc tính cũng sẽ như vậy :

$$R_{ưt3} = \frac{oa}{og}R_ư; \quad R_{ưt2} = \frac{oc}{og}R_ư \quad ; \quad R_{ưt1} = \frac{oe}{og}R_ư = R_ư + R_{f1} \quad (3\text{-}25)$$

Cũng từ hình 3-6 ta thấy rằng, khi chuyển đổi cấp điện trở phụ, điểm làm việc chuyển từ đặc tính thấp sang đặc tính cao theo đường dóng ngang, nghĩa là có ω không đổi. Ví dụ khi chuyển từ điểm b (đường 3 có $R_{ưt3}$) sang điểm c (đường 2 có $R_{ưt2}$) với tốc độ $\omega_3$ = const, do đó :

Tại điểm b ta có : $I_2 = \dfrac{U_{đm} - K\Phi_{đm}\omega_3}{R_{ưt3}}$

Và tại điểm c ta có : $I_1 = \dfrac{U_{đm} - K\Phi_{đm}\omega_3}{R_{ưt2}}$

Vậy : $\dfrac{I_1}{I_2} = \dfrac{R_{ưt3}}{R_{ưt2}}$

Cũng lập tỷ số như vậy cho các điểm chuyển đổi khác, ta được :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{ưt3}}{R_{ưt2}} = \frac{R_{ưt2}}{R_{ưt1}} = \frac{R_{ưt1}}{R_ư} = \lambda \qquad (3\text{-}26)$$

Trong đó $\lambda = \dfrac{I_1}{I_2}$ - bội số dòng điện (hoặc momen) khởi động.

Từ (3-26) ta rút ra :

$$R_{ưt3} = \lambda R_{ưt2} = \lambda^2 R_{ưt1} = \lambda^3 R_ư$$

Hoặc một cách tổng quát, nếu điện trở phụ có m đoạn từ $R_{f1}$, $R_{f2}$,... đến $R_{fm}$, tương ứng với các cấp điện trở tổng $R_{ưt1}$, $R_{ưt2}$, ... $R_{ưtm}$ thì :

$$R_{ưtm} = \lambda R_{ưt(m-1)} = \lambda^m R_ư \qquad (3\text{-}27)$$

Hoặc biến đổi biểu thức ta có :

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{R_{ut m}}{R_u}} = \sqrt[m]{\frac{U_{dm}}{R_u I_1}} = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u I_2}} \qquad (3\text{-}28)$$

Trong đó, ta đã thay $R_{ut.m} = \frac{U_{dm}}{I_1}$ rồi thay tiếp $I_1 = \lambda\, I_2$.

Biểu thức (3-28) cho phép ta tính ra bội số dòng điện λ khi đã biết $R_u$, đã cho trước số cấp khởi động m và tự chọn trước một trong hai giá trị dòng điện $I_1$ hoặc $I_2$. Nếu yêu cầu khởi động nhanh, nghĩa là cần có dòng điện và momen khởi động lớn thì ta chọn trước $I_1$ với giá trị tối đa có thể được, ví dụ : $I_1 = 2{,}5I_{dm}$, tính ra λ rồi tính ra $I_2$. Nếu chỉ yêu cầu khởi động bình thường thì nên chọn trước $I_2$ trong giới hạn từ $1{,}1 \div 1{,}3\ I_c$ rồi tính ra λ và $I_1$.

Một dạng bài toán khác về tính toán điện trở khởi động là xác định số cấp m khi đã biết λ. $R_{ut.m}$, $R_u$. Lấy log của biểu thức (3-28) ta được :

$$m = \frac{\log\left(R_{ut.m}/R_u\right)}{\log\lambda} = \frac{\log\left(U_{dm}/R_u I_1\right)}{\log\lambda} \qquad (3\text{-}29)$$

Sử dụng các biểu thức (3-27), (3-28), (3-29) có thể giải các dạng bài toán khởi động mà không cần phải vẽ họ đặc tính như trên hình 3-6.

* ***Ví dụ 3-2 :*** Cho động cơ kích từ song song 25kW, 220V, 420vg/ph, 120A, $R_u^* = 0{,}08$. Khởi động bằng hai cấp điện trở phụ với tần suất 1lần/1ca, làm việc ba ca, momen cản quy đổi về trục động cơ (cả trong thời gian khởi động) $M_c \approx 410$N.m. Hãy xác định các cấp điện trở phụ.

***Giải :*** Trước hết, ta xác định các số liệu cần thiết của động cơ :

Điện trở định mức : $R_{dm} = U_{dm}/I_{dm} = 220V/120A = 1{,}83\Omega$

Điện trở phần ứng : $R_u = R_u^*.\ R_{dm} = 0{,}08.1{,}83 = 0{,}146\Omega$

Tốc độ góc định mức : $\omega_{dm} = n_{dm}/9{,}55 = 420/9{,}55 = 44$ rad/s

Từ thông của động cơ và hệ số K của nó :

$$K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - R_u.I_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 0{,}146.120}{44} = 4{,}6\ \text{Wb}$$

Dòng điện phụ tải : $I_c = M_c/K\Phi_{dm} = 410/4{,}6 = 89A \approx 0{,}74I_{dm}$

Với tần suất khởi động ít, dòng điện và momen phụ tải nhỏ hơn định mức, nên ta coi trường hợp này thuộc loại khởi động bình thường với số cấp khởi động cho trước m = 2, dùng biểu thức (3-28), chọn trước giá trị $I_2$ :

$$I_2 \approx 1{,}1I_c \approx 98A$$

Ta tính được bội số dòng điện khởi động:

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{U_{dm}}{R_u I_2}} = \sqrt[2+1]{\frac{220}{0,146 * 98}} = 2,5$$

Kiểm nghiệm lại giá trị dòng điện $I_1$ :

$$I_1 = \lambda I_2 = 2,5.98 = 245A \approx 2I_{dm}$$

thấp hơn giá trị cho phép, nghĩa là số liệu đã tính là hợp lý.

Theo (3-27) ta xác định được các cấp điện trở tổng với hai đường đặc tính nhân tạo :

$$R_{ut1} = \lambda R_u = 2,5.0,146 = 0,365\Omega$$

$$R_{ut2} = \lambda R_{ut1} = 2,5.0,365 = 0,912\Omega$$

và các đoạn điện trở phụ sẽ là :

$$R_{f1} = R_{ut1} - R_u = 0,365 - 0,146 = 0,219\Omega$$

$$R_{f2} = R_{ut2} - R_{f1} - R_u = 0,912 - 0,219 - 0,146 = 0,547\Omega$$

***c) Xác định điện trở phụ khởi động động cơ kích từ nối tiếp***

Việc điều chỉnh dòng điện và momen của động cơ kích từ nối tiếp cũng tương tự như ở động cơ kích từ song song, chỉ khác là các đặc tính cơ của nó phi tuyến. Để tính toán người ta tuyến tính hoá các đặc tính cơ tự nhiên và nhân tạo biến trở trong vùng khởi động và đưa chúng về dạng họ đặc tính khởi động giống như hình 3-6.

Sơ đồ nối điện trở phụ 3 cấp vẽ trên hình 3-7, việc xây dựng họ đặc tính khởi động tiến hành theo trình tự sau :

- Dựa vào thông số của động cơ và đặc tính vạn năng, dựng đặc tính cơ điện tự nhiên (xem chương II), ta được đường tự nhiên.(TN).

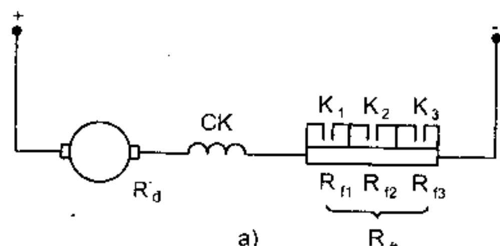
- Chọn $I_1 \le (2 \div 2,5)I_{dm}$ và tính điện trở tổng của mạch điện $R_t = R_d + R_{ft}$ để đảm bảo khởi động với $I = I_1$ khi $\omega = 0$ (điểm h) :

$$R_t = \frac{U_{dm}}{I_1}$$

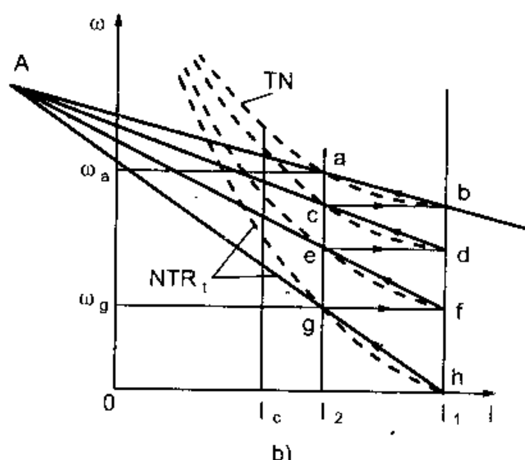
- Chọn giá trị $I_2 \ge (1,1 \div 1,3)I_c$, từ $I_2$ dóng lên đặc tính tự nhiên (điểm a hình 3-7) ta được $\omega_a$, dựa vào $\omega_a$ ta tính được tốc độ trên đặc tính nhân tạo $R_t$ ứng với cùng dòng điện $I_2$ (điểm g) :

$$\omega_g = \omega_a \frac{U_{dm} - I_2 R_t}{U_{dm} = I_2 R_d}$$

Kẻ đường dóng $I_1$ lên đặc tính tự nhiên được điểm b, nối gh, ab được giao điểm A. Các đường Aab và Agh là đường tuyến tính hoá trong đoạn khởi động của đặc tính tự nhiên và đặc tính nhân tạo thấp nhất.




Người ta đã chứng minh được rằng A là điểm hội tụ của tất cả các đường tuyến tính hoá của các đặc tính nhân tạo biến trở. Vì vậy, ta tiến hành vẽ các đường đặc tính này xuất phát từ A (thay cho xuất phát từ $\omega_0$ trên hình 3-6), và nhận được họ đặc tính như trên hình 3-7. Tất nhiên, khi dóng đoạn cuối cùng từ c sang b cũng đòi hỏi điểm b phải nằm đúng trên giao điểm của đường dóng $I_1$ và đặc tính tự nhiên đã có. Nếu không đạt, ta phải chọn lại $I_1$ hoặc $I_2$ và tiến hành lại từ đầu.




***Hình 3 - 7.*** *Sơ đồ nguyên lý (a) và các đặc tính khởi động (b) của động cơ một chiều kích từ nối tiếp*

- Cuối cùng ta xác định được các đoạn điện trở phụ :

Điện trở phụ tổng : $R_{ft} = R_t - R_d$ ;

Trong đó : $R_d$ - điện trở của động cơ (đã cho trước)

$R_d = R_u + R_{ck}$

$R_t = U_{dm}/I_1$ – giá trị điện trở tổng đã xác định ở trên.

Các đoạn điện trở phụ :

$$R_{f1} = \frac{bd}{bh}R_{ft} \quad ; \quad R_{f2} = \frac{df}{bh}R_{ft} \quad ; \quad R_{f3} = \frac{fh}{bh}R_{ft}$$

### 3.3.2. Điều khiển bằng từ thông kích thích

Như đã nêu trong chương hai, khi thay đổi từ thông, tốc độ động cơ sẽ thay đổi gần như theo tỷ lệ nghịch, còn dòng điện ngắn mạch không đổi. Vì vậy phương pháp điều khiển này chỉ được ứng dụng để điều chỉnh tốc độ.

Sơ đồ nguyên lí của hệ điều khiển bằng từ thông được vẽ trên hình 3-8a,b, trong đó dòng kích từ $I_{kt}$ và từ thông Φ có thể thay đổi nhờ biến trở $R_{fk}$ hoặc nhờ bộ nguồn kích từ có điện áp $U_{kt}$ thay đổi. Các đặc tính cơ tự nhiên và

nhân tạo được vẽ trên hình 3-8c, trong đó đặc tính tự nhiên có $\Phi = \Phi_{dm}$ ở vị trí thấp nhất. Các đặc tính điều chỉnh đều ứng với các từ thông $\Phi<\Phi_{dm}$ có vị trí cao hơn.

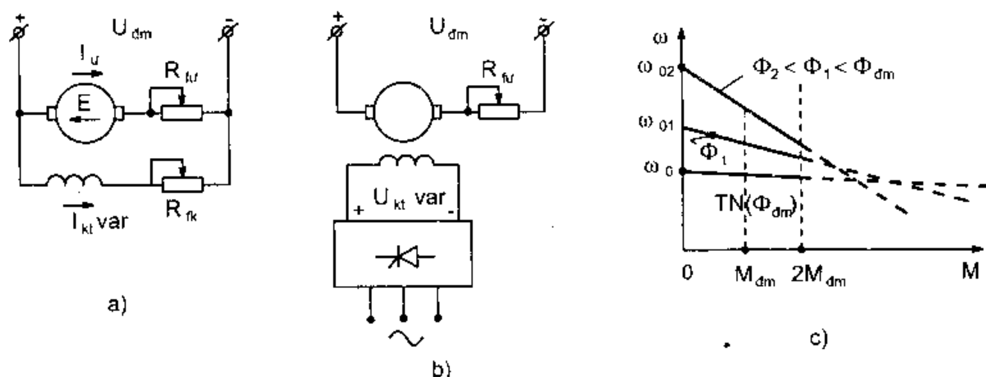
Phương trình đặc tính cơ đã trình bày trong chương II:

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi} - \frac{R_u}{(K\Phi)^2}M = \omega_0 - \frac{M}{\beta_\Phi} \qquad (3\text{-}30)$$

Trong đó :

$\omega_0 = U_{dm}/K\Phi$ - tỷ lệ nghịch với từ thông : $\Phi$ càng giảm, $\omega_0$ càng tăng.

$\beta_\Phi = (K\Phi)^2/R_u$ - tỷ lệ với bình phương của từ thông : $\Phi$ càng giảm, $\beta_\Phi$ càng giảm v à độ sụt tốc $\Delta\omega$ càng lớn.




*Hình 3 - 8. Sơ đồ nguyên lý (a,b) và các đặc tính cơ điều chỉnh bằng từ thông của động cơ điện một chiều*

Thực tế các đặc tính này chỉ tồn tại trong vùng phụ tải từ $0 \div <2M_{dm}$. Ở đó khi từ thông giảm, $\omega_0$ sẽ tăng nhiều hơn so với phần tăng của độ sụt tốc $\Delta\omega$ và kết quả là tốc độ động cơ tăng lên. Ở vùng phụ tải lớn, độ sụt tốc có thể tăng nhiều hơn, nên tốc độ có thể lại giảm khi ta giảm từ thông. Tuy nhiên vùng này ít gặp trong thực tế.

Phương pháp điều chỉnh tốc độ bằng cách giảm từ thông thích hợp với các máy sản xuất có đặc tính cơ loại máy tiện ( $M_c \equiv 1/\omega$), vì momen tải cho phép của động cơ cũng phụ thuộc tốc độ theo quy luật đó. Thực vậy, momen tải cho phép của động cơ là :

$$M_{t.cp} = K\Phi I_{dm} \qquad (3\text{-}31)$$

Trong đó :

$\Phi$ - đại lượng biến đổi. Ta có thể tìm được biểu thức của nó nhờ phương trình cân bằng điện áp mạch phần ứng :

$$U_{dm} = E + I_{ư}R_{ư} \approx E = K\Phi\omega$$

$$\text{Do đó : } K\Phi \approx \frac{U_{dm}}{\omega} \equiv \frac{1}{\omega} \qquad (3\text{-}32)$$

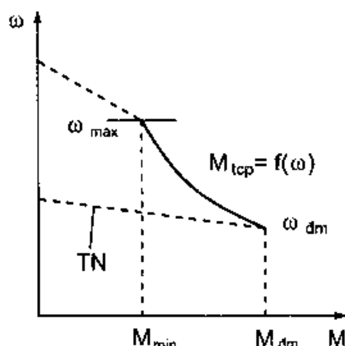
Thay (3-32) vào (3-31) ta được phương trình đặc tính momen tải cho phép của động cơ khi điều chỉnh từ thông :

$$M_{t.cp} = \frac{U_{dm}I_{dm}}{\omega} \qquad (3\text{-}33)$$

hoặc $$P_{t.cp} = M_{t.cp}\omega = U_{dm}I_{dm} = \text{const} \qquad (3\text{-}34)$$

Như vậy phương pháp này có momen tải cho phép của động cơ giảm khi tốc độ tăng (xem hình 3-9), còn công suất cho phép thì không đổi.

Dải điều chỉnh của phương pháp này bị hạn chế cả phía $\omega_{max}$ và phía $\omega_{min}$. Tốc độ thấp nhất bị giới hạn bởi đặc tính cơ tự nhiên ($\omega_{min} = \omega_{dm}$), còn tốc độ cao nhất bị hạn chế bởi độ bền cơ khí và điều kiện chuyển mạch trên cổ góp của động cơ. Đối với các động cơ thông dụng, $\omega_{max} \approx (1,5 \div 2)\omega_{dm}$. Do đó dải điều chỉnh D≤2. Các động cơ chế tạo đặc biệt có thể có D = 3÷6 nhưng kích thước to và giá thành đắt.




*Hình 3 - 9. Đặc tính momen tải cho phép của động cơ một chiều khi điều chỉnh từ thông*

Độ chính xác duy trì tốc độ đặt của phương pháp này cũng không cao vì độ cứng của các đặc tính cơ điều chỉnh giảm tỷ lệ với bình phương của từ thông.

Tuy nhiên, nó cũng có ưu điểm về độ tinh điều chỉnh, có thể dễ dàng điều chỉnh tốc độ vô cấp, nhờ phần tử điều chỉnh đặt ở mạch kích từ, có công suất nhỏ (chỉ bằng khoảng 2÷5% công suất định mức của động cơ).

Trong các hệ truyền động hiện đại, sử dụng sơ đồ 3-8b, kết hợp phương pháp điều chỉnh tự động người ta cải thiện được độ chính xác điều chỉnh, còn dải điều chỉnh thì không mở rộng thêm được.

### 3.3.3. Điều khiển bằng điện áp phần ứng

Khi giữ từ thông không đổi $\Phi = \Phi_{dm}$, không nối điện trở phụ $R_{fư}$, ta có thể điều chỉnh các thông số I, M, ω của động cơ một cách rất hiệu quả bằng cách thay đổi điện áp phần ứng $U_{ư}$. Để tạo ra điện áp $U_{ư}$, người ta sử dụng các bộ nguồn "Thiết bị biến đổi điều khiển" làm chức năng biến đổi điện năng xoay chiều thành một chiều và điều chỉnh sđđ $E_b$ của nó theo tín hiệu điều khiển $U_{dk}$. Ví dụ : máy phát điện một chiều kích từ độc lập là một loại thiết bị biến

đổi, có sđđ $E_f$ điều chỉnh theo điện áp kích từ của nó ($U_{kt}$), hoặc chỉnh lưu điều khiển có sđđ $E_d$ thay đổi theo điện áp điều khiển đưa vào mạch tạo xung mở van ($U_{dk}$). Sơ đồ nguyên lý và sơ đồ thay thế của hệ được vẽ trên hình 3-10. Sau đây ta xét các ứng dụng của phương pháp này để điều chỉnh tốc độ, dòng điện và momen động cơ.

*a) Điều chỉnh tốc độ*

Phương trình đặc tính cơ có thể rút ra từ phương trình cân bằng điện áp của mạch điện hình 3-10b :

$$E_b - E = I_u (R_u+R_b) \qquad (3\text{-}35)$$

Trong đó : $E_b$ - sđđ của bộ biến đổi, phụ thuộc điện áp điều khiển : $E_b = f(U_{dk})$

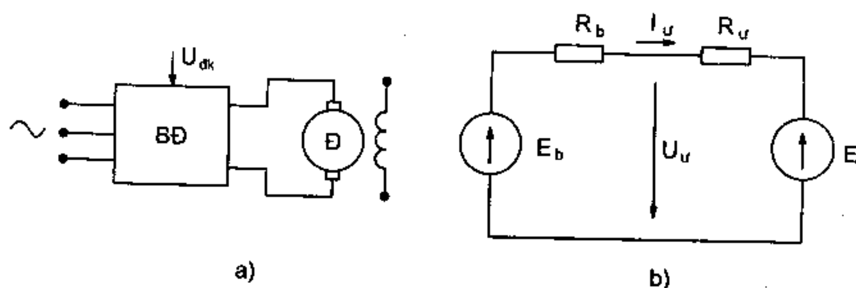
$E$ – sđđ của động cơ : $E = K\Phi_{dm}\omega$

$R_b$ - điện trở trong của bộ biến đổi, thường có giá trị đáng kể, hoặc xấp xỉ với điện trở phần ứng động cơ ($R_b \approx R_u$)

Từ đó ta có :

$$\omega = \frac{E_b}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_u + R_b}{K\Phi_{dm}} I_u = \omega_0 - \Delta\omega \qquad (3\text{-}36)$$

$$\omega = \frac{E_b}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_u + R_b}{(K\Phi_{dm})^2} M = \omega_0 - \frac{M}{\beta_u} \qquad (3\text{-}37)$$




*Hình 3 - 10. Hệ điều khiển động cơ một chiều bằng điện áp phần ứng*
*a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Sơ đồ thay thế*

Khi thay đổi điện áp điều khiển $U_{dk}$ của bộ biến đổi, sđđ $E_b$ thay đổi, dẫn đến sự thay đổi của $\omega_0$, còn độ cứng đặc tính cơ $\beta_u$ và độ sụt tốc $\Delta\omega$ không đổi. Kết quả ta được họ đặc tính điều chỉnh là những đường song song trên hình 3-11.

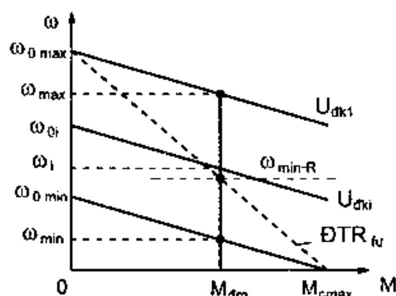
Cũng từ đó ta thấy phương pháp điều khiển này có các chỉ tiêu chất lượng cao :

- Trước hết, hệ có khả năng điều chỉnh triệt để, nghĩa là thay đổi được cả tốc độ không tải lí tưởng (khi M = 0).

- Độ cứng các đặc tính điều chỉnh được giữ không đổi :

$$\beta_u = (K\Phi_{dm})^2/(R_u+R_b) = \text{const}$$

và không bị giảm khi điều chỉnh sâu. Thông thường $R_b \approx R_ư$ nên $\beta_u \approx \frac{1}{2}\beta_{tn}$ = const. Nhờ đó sai số tốc độ $\Delta\omega$ không đổi và có giá trị nhỏ nên độ chính xác tương đối cao.




*Hình 3 - 11. Các đặc tính cơ điều chỉnh khi điều khiển động cơ một chiều bằng điện áp phần ứng*

- Dải điều chỉnh tương đối rộng : Tốc độ cực đại tương ứng với điện áp định mức của động cơ ($E_{bmax} \approx U_{dm}$) nên $\omega_{max} \approx \omega_{dm}$ (cũng tương tự như ở phương pháp điều khiển bằng điện trở phụ $R_{fư}$) ; còn tốc độ cực tiểu $\omega_{min}$ nhỏ hơn nhiều so với phương pháp dùng $R_{fư}$, do đó dải điều chỉnh $D = \omega_{max}/\omega_{min}$ khá rộng.

- Phương pháp điều khiển động cơ bằng điện áp phần ứng cũng đảm bảo độ tinh cao, có thể điều chỉnh vô cấp và tổn hao năng lượng ít.

Trên hình 3-11 đưa ra sự so sánh về $\omega_{min}$ của phương pháp này và $\omega_{min\text{-}R}$ của phương pháp dùng điện trở phụ khi có cùng yêu cầu đảm bảo khả năng quá tải như nhau (cùng giá trị $M_{cmax}$).

Bằng cách tương tự như ở mục 3.3.1, ta có thể tìm được biểu thức của dải điều chỉnh tốc độ. Theo yêu cầu của khả năng quá tải với $K_{qt} = M_{cmax}/M_{dm}$ ta có :

$$D = \frac{\beta_u^* - 1}{K_{qt} - 1} \qquad (3\text{-}38)$$

Và theo yêu cầu về sai số tốc độ cho phép $s_{cp}$% :

$$D \doteq \frac{(\beta_u^* - 1)s_{cp}}{1 - s_{cp}} \qquad (3\text{-}39)$$

Với động cơ cho trong ví dụ 3-1, nếu bộ biến đổi cũng có $R_b^* \cong R_ư^*$ = 0,048, nghĩa là độ cứng $\beta_u^* = 1/(R_ư^* + R_b^*) = 10{,}4$ thì khi có cùng $K_{qt} = 2$ như ở phương pháp dùng $R_{fư}$ ở ví dụ 3-1, dải điều chỉnh sẽ là :

$$D = \frac{10{,}4 - 1}{2 - 1} = 9{,}4$$

Ta thấy, dải điều chỉnh trong trường hợp này lớn hơn rất nhiều so với dải điều chỉnh ở phương pháp dùng $R_{fư}$ ở ví dụ 3 -1 (D = 1,9).

- Momen tải cho phép của động cơ khi điều chỉnh tốc độ được xác định như sau:

$$M_{tcp} = K\Phi_{dm}I_{dm} = M_{dm} = const \qquad (3\text{-}40)$$

Tương tự như ở phương pháp điều khiển bằng $R_{fư}$ và thích hợp với loại tải cần trục.

Với những chỉ tiêu chất lượng nêu trên, phương pháp điều khiển bằng điện áp phần ứng được đánh giá tốt và được sử dụng rộng rãi trong thực tế.

***b) Điều chỉnh dòng điện và momen***

Yêu cầu điều chỉnh dòng điện và momen thường được đặt ra trong quá trình khởi động và tăng tốc. Dòng điện khởi động (ngắn mạch) của động cơ trong hệ được rút ra từ sơ đồ thay thế hình 3-10, và tương ứng là momen ngắn mạch :

$$I_{nm} = \frac{E_b}{R_ư + R_b} \quad \text{và} \quad M_{nm} = K\Phi_{dm}\frac{E_b}{R_ư + R_b} \qquad (3\text{-}41)$$

Như vậy, bằng cách thay đổi điện áp điều khiển của bộ biến đổi $U_{dk}$, ta có các giá trị của $E_b$ theo yêu cầu của dòng điện hoặc momen khởi động.

Giả sử có một bộ nguồn điều chỉnh $E_b$ có cấp, thì giá trị cần thiết ban đầu để khởi động động cơ sẽ là :

$$E_{b1} = (R_ư + R_b)I_{cp} \qquad (3\text{-}42)$$

Trong đó : $I_{cp} = (2 \div 2{,}5)I_{dm}$ – dòng điện cho phép của động cơ.

Động cơ sẽ được khởi động theo đặc tính 1 (hình 3-12a) với tốc độ tăng dần, sđđ E tăng dần và dòng điện giảm dần. Khi dòng điện giảm đến giá trị $I_ư = I_2$ ( với $I_2 > I_c$) ta chuyển đổi nguồn sang giá trị $E_{b2}$ (cấp điện áp thứ hai) và tiếp tục tăng tốc theo đường đặc tính 2 ...

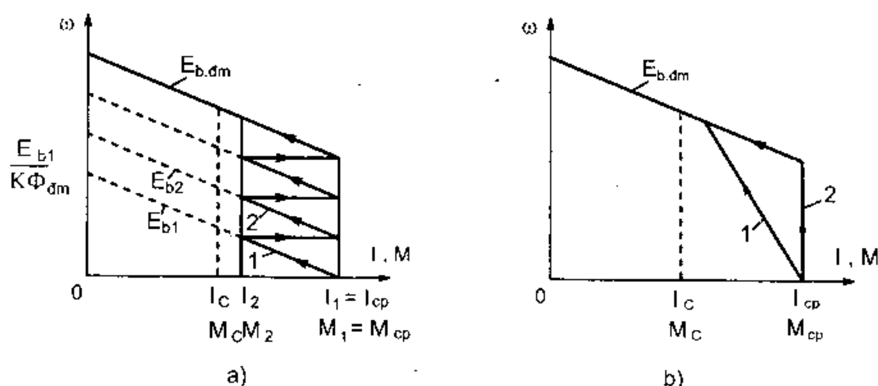
Giá trị trung bình của dòng điện và momen khởi động tăng tốc sẽ là :

$$I_{tb} = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \text{và} \quad M_{tb} = \frac{M_1 + M_2}{2}$$

Các giá trị trung bình của momen và dòng điện sẽ quyết định gia tốc và thời gian khởi động của động cơ.

Việc điều chỉnh dòng điện và momen mô tả trên đây là điều chỉnh thô và thực tế không được sử dụng. Người ta thường dùng phương pháp điều chỉnh tự động, bằng cách cho thông số điều chỉnh $U_{dk}$ (và $E_b$) biến đổi liên tục (vô cấp), lúc đó các đặc tính 1,2,... sát liền nhau, và điểm làm việc của động cơ sẽ di

chuyển trên một đường thẳng với một độ chính xác duy trì dòng điện đặt ban đầu ($I_ư = I_{cp}$) nào đó (đường 1 – hình 3-12b), hoặc có thể duy trì tuyệt đối $I_ư = I_{cp}$ = const theo đường thẳng đứng (đường 2 – hình 3-12b).




***Hình 3 - 12.*** *Điều chỉnh dòng điện và momen của động cơ một chiều bằng cách thay đổi điện áp phần ứng*

*a) Điều chỉnh($E_b$) có cấp ; b) Điều chỉnh vô cấp.*

## 3.4. CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ

Như đã nêu trong chương II, có thể điều khiển động cơ không đồng bộ bằng cách tác động vào một trong các thông số : điện trở mạch roto $R_2$, điện áp stato $U_1$, điện trở và điện kháng stato $R_1$ hoặc $X_1$, tần số dòng điện stato f. Ngoài ra, người ta còn sử dụng sơ đồ đặc biệt – sơ đồ tầng - để điều khiển động cơ này thông qua việc điều chỉnh công suất trượt trong mạch roto. Ta sẽ lần lượt khảo sát các phương pháp đó.

### 3.4.1. Điều khiển bằng điện trở phụ trong mạch roto $R_f$

Có thể nêu một nhận xét tổng quát rằng : phương pháp điều khiển động cơ không đồng bộ roto dây quấn bằng điện trở phụ mạch roto hoàn toàn tương đồng với phương pháp điều khiển động cơ một chiều kích từ độc lập bằng điện trở phụ mạch phần ứng, cả về dạng sơ đồ nối dây, họ đặc tính, các chỉ tiêu chất lượng và ứng dụng.

***a) Sơ đồ nguyên lý*** của một hệ điều khiển 2 cấp điện trở phụ và họ đặc tính cơ được nêu trên hình 3-13. Theo kết quả phân tích trong chương II khi $R_f$ thay đổi ta có :

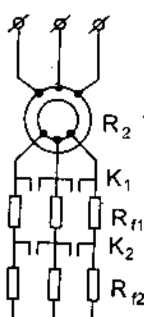
$$\left.\begin{array}{lll}\text{Momen tới hạn của động cơ :} & M_{th} \approx \dfrac{3U_1^2}{2\omega_0 X_{nm}} = \text{const} \\ \text{Độ trượt tới hạn :} & s_{th} \approx \dfrac{R_{2t}'}{X_{nm}} \equiv R_{2t} \\ \text{Tốc độ không tải lí tưởng:} & \omega_0 = \dfrac{2\pi f}{p} = \text{const}\end{array}\right\} \quad (3\text{-}43)$$

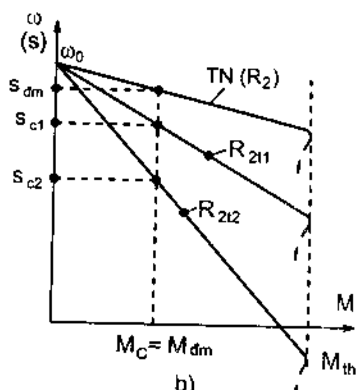
Trong đó : $R_{2t} = R_2 + R_f$ - điện trở tổng trong mạch roto.

Nếu tuyến tính hoá đoạn đặc tính công tác trong phạm vi phụ tải từ $0 \div M_c = M_{dm}$, ta có biểu thức gần đúng :

$$M = \frac{M_{dm}}{s_c} s \quad (3\text{-}44)$$

Trong đó : $s_c$ - độ trượt tại $M_c = M_{dm}$ và cũng chính là độ sụt tốc tương đối $\Delta\omega_c^*$ trên đường đặc tính đang xét với $M_c = M_{dm}$.




*Hình 3-13. Điều khiển động cơ không đồng bộ roto dây quấn bằng điện trở phụ trong mạch roto*
*a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Họ đặc tính cơ*

Lúc đó, đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ khi $R_f$ = var hoàn toàn trùng hợp với họ đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập khi điều chỉnh $R_{fu}$ (xem hình 3-3), với độ cứng của các đặc tính cơ nhân tạo :

$$\beta_R = \frac{M_{dm}}{\omega_0 s_c} \quad \text{hoặc} \quad \beta_R^* = \frac{1}{s_c} = \frac{1}{R_{2t}^*} \quad (3\text{-}45)$$

Khi tăng điện trở phụ $R_f$, độ cứng đặc tính cơ $\beta_R$ giảm, do đó điều chỉnh được tốc độ làm việc và momen ngắn mạch của động cơ.

### b) Điều chỉnh tốc độ

Do độ cứng của các đặc tính điều chỉnh thấp, nên sai số tốc độ lớn, momen quá tải nhỏ và dải điều chỉnh thường không vượt quá 2:1 (tương tự ví dụ 3-1).

*Đặc tính momen tải cho phép* $M_{t.cp} = f(\omega)$ của phương pháp điều chỉnh tốc độ này có thể xác định từ biểu thức (2-57) khi thay $I_2 = I_{2dm}$ :

$$M_{t.cp} = \frac{3I_{2dm}^2 R_2}{\omega_0 s}$$

Trong đó, điện trở $R_2$ và độ trượt s tỷ lệ với nhau : $R_2/s$ = const, do đó :

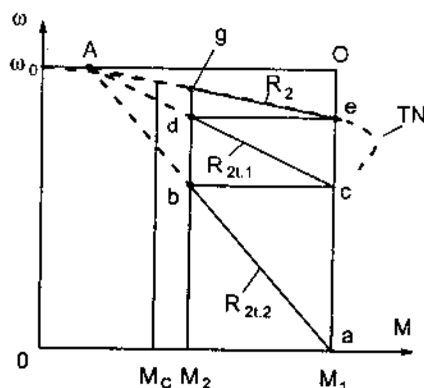
$$M_{t.cp} = \frac{A.I_{2dm}^2}{\omega_0} = M_{dm} = const \qquad (3\text{-}46)$$

Như vậy đặc tính này cũng tương tự như của động cơ một chiều khi điều khiển bằng điện trở phụ phần ứng (xem biểu thức 3-16), nghĩa là phương pháp điều chỉnh đang xét sẽ thích hợp với loại phụ tải cần trục ($M_c$ = const).

Để tăng chất lượng điều chỉnh tốc độ, người ta đã sử dụng loại biến trở xung – một loại biến trở tự động có thể điều khiển nhờ khoá đóng cắt bằng linh kiện điện tử. Sơ đồ ứng dụng được trình bày trong chương IV. Tuy nhiên sơ đồ gốc như trên hình 3-13 vẫn được ứng dụng để điều khiển các động cơ roto dây quấn.

***c) Khởi động động cơ roto dây quấn bằng điện trở phụ trong mạch roto***

Sơ đồ nối điện trở khởi động cho động cơ không đồng bộ roto dây quấn đã trình bày trên hình 3-13a với hai cấp điện trở phụ và hai bộ tiếp điểm đóng cắt $K_1$, $K_2$. Diễn biến của quá trình tăng tốc và trình tự loại cắt loại các đoạn điện trở phụ cũng tương tự như đã mô tả đối với động cơ điện một chiều. Tuy nhiên, vì đặc tính cơ trong trường hợp này là đường cong nên việc dựng họ đặc tính khởi động được tuyến tính hoá theo trình tự sau :



*Hình 3 - 14. Họ đặc tính khởi động bằng điện trở phụ mạch roto*

- Trước hết dựng đặc tính cơ tự nhiên (TN) của động cơ theo các số liệu catalo (xem chương II)

- Chọn các giá trị momen giới hạn : $M_1 \leq 0{,}85M_{th}$ ; $M_2 \geq (1 \div 1{,}3)M_c$ ; đặt 2 đường dóng thẳng đứng qua $M_1$, $M_2$.

- Tuyến tính hoá đặc tính tự nhiên trong vùng $M_1 \div M_2$ bằng cách nối eg, ta được điểm A trên đường dóng ngang qua $\omega_0$. Đó là điểm đồng quy của các đường tuyến tính hoá của họ đặc tính khởi động.

- Nối Aa – ta có đặc tính khởi động thứ nhất, và tiếp tục như đối với động cơ một chiều, ta được họ đặc tính trên hình 3-14.

- Các đoạn sụt tốc oe, oc, oa tương ứng với các độ trượt trên các đường đặc tính cơ, sẽ tỷ lệ với điện trở tổng trong mạch roto, do đó ta có :

$$R_{f1} = \frac{ec}{oe}R_2 \quad ; \quad R_{f2} = \frac{ca}{oe}R_2 \qquad (3\text{-}47)$$

## 3.4.2. Điều khiển bằng điện áp stato

Kết quả phân tích ở chương hai cho thấy sự ảnh hưởng của điện áp stato $U_1$ đến các thông số đầu ra của động cơ như dòng điện $I_1$, $I_2$, momen, tốc độ và dạng của các đặc tính cơ điều chỉnh.

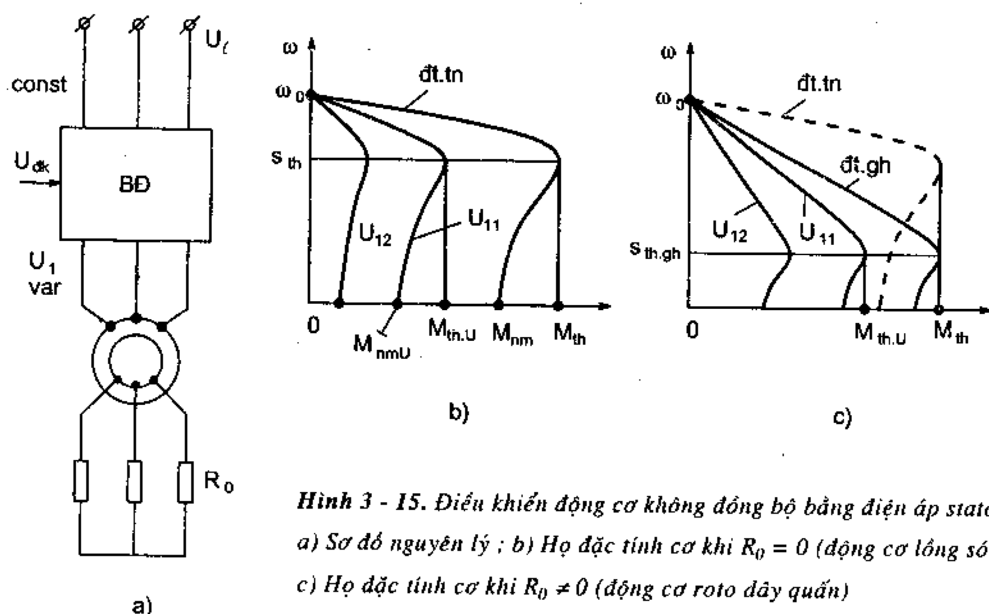
Từ các biểu thức (2-51) ÷(2-60) ta thấy dòng điện động cơ phụ thuộc tỷ lệ với điện áp $U_1$, momen tỷ lệ với bình phương của $U_1$, còn độ trượt tới hạn không thay đổi khi điều chỉnh điện áp :

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Dòng điện ngắn mạch :} & I_{nm.U} = I_{nm}.U_1^* \\ \text{Momen ngắn mạch (khởi động) :} & M_{nm.U} = M_{nm} U_1^{*2} \\ \text{Momen tới hạn:} & M_{th.U} = M_{th} U_1^{*2} \\ \text{Độ trượt tới hạn :} & S_{th} = const \end{array}\right\} \quad (3\text{-}48)$$

Trong đó : $U_1^* = U_1/U_{đm}$ – Giá trị tương đối của điện áp stato.

$I_{nm}$ , $M_{nm}$ , $M_{th}$ : là các thông số tương ứng với các đặc tính tự nhiên của động cơ.

Như vậy, nếu sử dụng bộ nguồn có điện áp ra thay đổi $U_1$ = var cung cấp cho stato động cơ theo sơ đồ khái quát hình 3-15a ta sẽ điều chỉnh được dòng điện, momen và tốc độ động cơ. Dạng các đặc tính điều chỉnh vẽ ở hình 3-15b,c. Tuy nhiên, việc ứng dụng phương pháp điều khiển này cho động cơ roto lồng sóc và động cơ roto dây quấn có khác nhau.




*Hình 3 - 15. Điều khiển động cơ không đồng bộ bằng điện áp stato*
*a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Họ đặc tính cơ khi $R_0 = 0$ (động cơ lồng sóc);*
*c) Họ đặc tính cơ khi $R_0 \neq 0$ (động cơ roto dây quấn)*

***a) Đối với động cơ roto lồng sóc***

Do độ trượt tới hạn nhỏ, nên phần tác dụng (đoạn công tác) trên các đặc tính điều chỉnh ngắn, hiệu quả điều chỉnh tốc độ không cao (xem hình 3-15b), vì vậy phương pháp này thường được ứng dụng để điều chỉnh momen và dòng điện khởi động.

* ***Ví dụ 3-3.*** Cho một động cơ không đồng bộ lồng sóc 100kW, 380V, 1470vg/ph, $\lambda = M_{th}/M_{dm} = 2,3$ ; $K_M = M_{nm}/M_{dm} = 1,2$ ; kéo máy bơm nước có momen cản tĩnh khi $\omega = 0$ là $M_{co} = 312Nm$. Hãy xác định giá trị điện áp stato nhỏ nhất $U_{1min}$ để khởi động máy êm và an toàn.

*Giải :* Momen định mức của động cơ :

$$M_{dm} = \frac{P_{dm}.1000}{\omega_{dm}} = \frac{100.1000}{1470/9,55} = 649N.m$$

Momen cản tĩnh của máy bơm khi $\omega = 0$ tính theo đơn vị tương đối :

$$M_{co}^* = M_{co}/M_{dm} = 312/649 = 0,48$$

Để khởi động được máy và khởi động êm, ta chọn $M_{kd} = M_{nmU} \geq M_{co}$, cụ thể :

$$M_{nm.}U = M_{kd} = 1,1M_{co}\text{ , tức } M_{kd}^* = 1,1M_{co}^* = 0,53$$

Theo (3-48) giá trị điện áp stato nhỏ nhất cần để khởi động động cơ là :

$$U_{1.min}^* = \sqrt{\frac{M_{nm.U}}{M_{nm}}} = \sqrt{\frac{M_{nm.U}/M_{dm}}{M_{nm}/M_{dm}}}$$

$$= \sqrt{\frac{M_{kd}^*}{M_{nm}^*}} = \sqrt{\frac{0,53}{1,2}} = 0,66$$

hoặc $U_{1.min} = 0,66.380 = 252$ V (điện áp dây).

Chú ý, thực tế điện áp khởi động sẽ tăng từ $U_{1min}$ đến $U_{dm}$ qua 2÷3 cấp trung gian.

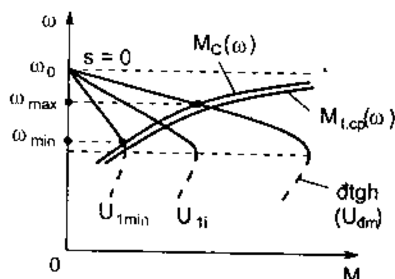
***b) Đối với động cơ roto dây quấn***

Người ta thường đưa thêm một bộ điện trở cố định $R_0$ vào ba pha roto (như hình 3-15a) để làm tăng độ trượt tới hạn. Khi đó đặc tính cơ giới hạn cao nhất sẽ là đường đtgh trên hình 3-15c ứng với $U_{dm}$ và có $R_0$. Các đặc tính giảm áp khác ($U_{11}$, $U_{12}$) đều được kéo dài đoạn đặc tính công tác, nhờ đó mở rộng được vùng điều chỉnh (cả tốc độ và momen tải). Nhờ đó phương pháp này còn có thể ứng dụng để điều chỉnh tốc độ.

Momen tải cho phép $M_{t.cp}$ của động cơ khi điều chỉnh tốc độ được xác định theo định nghĩa của nó, bằng cách thay $I_2 = I_{2dm}$ vào (2-57) :

$$M_{t.cp} = \frac{3I_{2dm}^2 R_2}{\omega_0} \cdot \frac{1}{s} = \frac{A}{s} \qquad (3\text{-}49)$$

(với $A = \frac{3I_{2dm}^2 R_2}{\omega_0}$ là hằng số), nghĩa là $M_{t.cp}$ tỷ lệ nghịch với độ trượt. Đặc tính $M_{t.cp} = f(s)$ cũng chính là $M_{t.cp} = f(\omega)$ được vẽ trên hình 3-16 và là đường cong phù hợp với tải quạt gió hoặc các tải có $M_c$ là hàm tăng theo tốc độ.

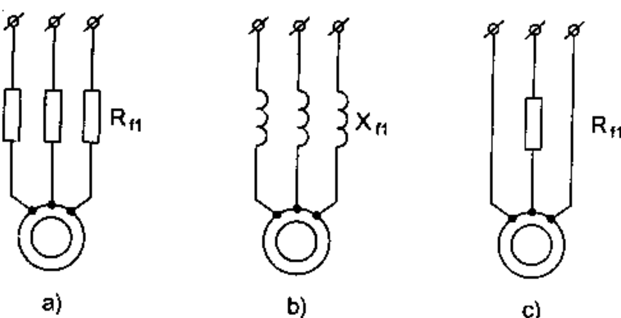



*Hình 3 - 16. Đặc tính momen tải cho phép $M_{t.cp} = f(\omega)$ của phương pháp điều khiển động cơ không đồng bộ bằng điện áp $U_1$ và phạm vi điều chỉnh tốc độ khi tải quạt gió*

Nếu sử dụng phương pháp này cho động cơ kéo các máy có $M_c$ là hàm tăng của tốc độ, thì dải điều chỉnh được mở rộng đáng kể. Hình 3-16 kết hợp minh hoạ cho điều đó : với đặc tính cơ của máy sản xuất dạng quạt gió $M_c(\omega)$ như trên hình vẽ, khi thay đổi điện áp stato từ $U_{1min}$ đến $U_{dm}$, ta sẽ điều chỉnh được tốc độ động cơ từ $\omega_{min}$ đến $\omega_{max}$.

### 3.4.3. Hạn chế dòng điện và momen khởi động bằng điện trở và điện kháng phụ mạch stato

Về nguyên lý, điện trở phụ $R_{f1}$ và điện kháng phụ $X_{f1}$ đều có ảnh hưởng đến đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ. Tuy nhiên do hạn chế của dạng đặc tính (hình 2-29) và các chỉ tiêu chất lượng thấp nên phương pháp điều khiển bằng điện trở phụ và điện kháng phụ mạch stato ít được sử dụng để điều chỉnh tốc độ. Ngược lại, nó tỏ ra có hiệu quả tốt và đơn giản đối với mục đích hạn chế dòng điện và momen khởi động.




*Hình 3 - 17. Các sơ đồ nối điện trở - điện kháng phụ để khởi động động cơ lồng sóc*

Phương pháp này thường được ứng dụng cho động cơ roto lồng sóc.

Sơ đồ nối các phần tử $R_{f1}$ và $X_{f1}$ đối xứng và không đối xứng được trình bày trên hình 3-17. Các sơ đồ đối xứng (hình 3-17a,b) cho phép giảm dòng điện khởi động và momen khởi động, trong đó mức độ giảm dòng điện ít hơn so với mức độ giảm momen. Sơ đồ nối điện trở phụ một pha (hình 3-17c) chỉ có tác dụng giảm được momen khởi động, còn dòng điện khởi động hầu như không giảm. Tuy vậy thực tế có nhiều trường hợp vẫn phải dùng sơ đồ này nếu hai pha còn lại có sử dụng vào mục đích khác. Sơ đồ dùng điện kháng phụ thường dùng cho các động cơ cao áp vì việc cách điện cao áp cho điện kháng dễ thực hiện hơn so với điện trở. Sau đây ta tìm biểu thức xác định $R_{f1}$ , $X_{f1}$ của các sơ đồ đối xứng.

Trị số của điện trở phụ $R_{f1}$ hoặc điện kháng phụ $X_{f1}$ được tính toán dựa vào yêu cầu của hệ số giảm dòng điện khởi động a :

$$a = \frac{I_{kđ}}{I_{nm}}$$

hoặc hệ số giảm momen khởi động μ : $\mu = \frac{M_{kđ}}{M_{nm}}$

Trong đó :

$I_{kđ}$, $M_{kđ}$ - các giá trị yêu cầu của dòng điện và momen khởi động.

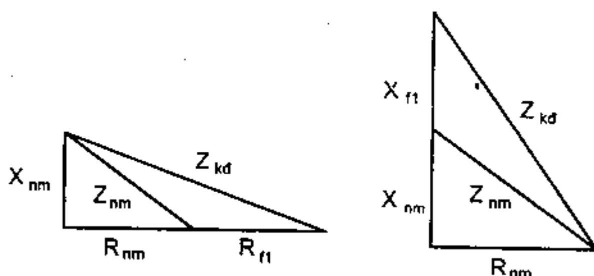
$I_{nm}$, $M_{nm}$ – dòng điện ngắn mạch và momen ngắn mạch tự nhiên của động cơ.

Vì momen tỷ lệ với bình phương của điện áp, còn dòng điện tỷ lệ bậc nhất, nên :

$$\mu = a^2 \quad (3\text{-}50)$$

Giả sử đã biết tổng trở ngắn mạch của động cơ $Z_{nm}$ , muốn giảm dòng điện khởi động với hệ số a, thì tổng trở khởi động phải bằng :

$$Z_{kđ} = \frac{Z_{nm}}{a}$$




***Hình 3 - 18.*** *Tam giác tổng trở*

Hãy biểu thị tam giác tổng trở như trên hình 3-18 cho trường hợp dùng $R_{f1}$ và trường hợp dùng $X_{f1}$, từ đó rút ra :

$$R_{f1} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{a}\right)^2 - X_{nm}^2} - R_{nm} \qquad (3\text{-}51)$$

$$X_{f1} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{a}\right)^2 - R_{nm}^2} - X_{nm} \qquad (3\text{-}52)$$

Nếu cho trước yêu cầu về hệ số μ, thì theo (3-50) ta có :

$$R_{f1} = \sqrt{\frac{Z_{nm}^2}{\mu} - X_{nm}^2} - R_{nm} \qquad (3\text{-}53)$$

$$X_{f1} = \sqrt{\frac{Z_{nm}^2}{\mu} - R_{nm}^2} - X_{nm} \qquad (3\text{-}54)$$

**Ví dụ 3-4 :* Xác định giá trị điện trở phụ 3 pha stato để hạn chế dòng điện khởi động của động cơ lồng sóc xuống còn $I_{kđ} = 3I_{dm}$. Cho biết : động cơ 40kW, 1500vg/ph ; 380/220V ; $I_{dm} = 87,3A$ ; $I_{nm} = 6\ I_{dm}$ ; $\cos\varphi_{dm} = 0.82$ ; $\cos\varphi_{nm} = 0,58$.

***Giải :*** Có thể tính gần đúng tổng trở, điện trở và điện kháng ngắn mạch của động cơ lồng sóc như sau :

$$Z_{nm} = \frac{U_{1dm}}{I_{nm}} = \frac{220}{6.87,3} = 0,42\Omega$$

$$R_{nm} = Z_{nm}\cos\varphi_{nm} = 0,42.0,58 = 0,243\Omega$$

$$X_{nm} = \sqrt{Z_{nm}^2 - R_{nm}^2} = \sqrt{0,42^2 - 0,243^2} = 0,342\Omega$$

Hệ số giảm dòng khởi động : $a = \dfrac{I_{kđ}}{I_{nm}} = \dfrac{3I_{dm}}{6I_{dm}} = 0,5$

Vậy điện trở phụ ba pha được xác định theo (3-51) :

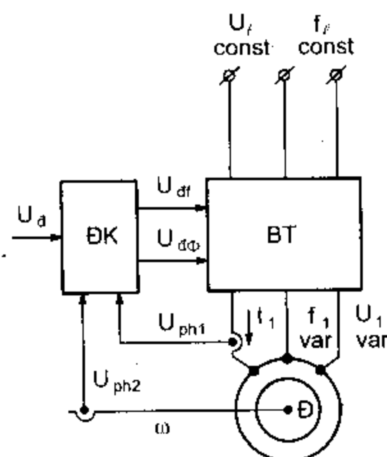
$$R_{f1} = \sqrt{\left(\frac{Z_{nm}}{a}\right)^2 - X_{nm}^2} - R_{nm} = \sqrt{\left(\frac{0,42}{0,5}\right)^2 - 0,342^2} - 0,243 = 0,524\Omega$$

### 3.4.4. Điều khiển động cơ không đồng bộ bằng tần số

Phương pháp điều khiển t ần số đã đưa lại cho động cơ không đồng bộ khả năng điều chỉnh các thông số đầu ra vượt trội, đạt đến mức độ tương đương như động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi điều khiển bằng điện áp phần ứng, nhờ đó các hệ truyền động không đồng bộ có điều khiển tần số đã được ứng dụng rộng rãi.

Phương pháp này cho phép điều chỉnh cả momen và tốc độ với chất lượng cao. Sơ đồ khái quát của hệ (hình 3-19) bao gồm bộ nguồn BT có khả năng điều chỉnh tần số và điện áp hoặc dòng điện, cấp cho stato của động cơ Đ và một khối điều khiển ĐK dùng để xử lí các tín hiệu điều khiển hệ thống.

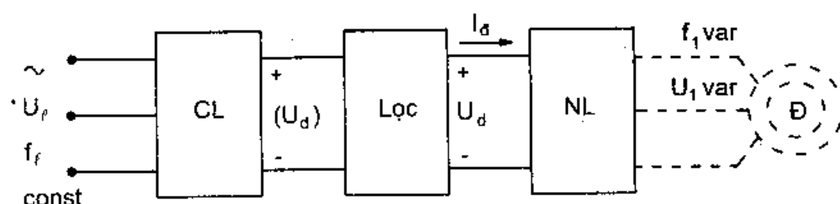
Hệ biến tần - động cơ không đồng bộ BT - Đ có được sự hoàn thiện về lí thuyết cũng như thực tiễn như ngày nay một phần lớn là nhờ sự phát triển mạnh của kỹ thuật điện tử công suất và kỹ thuật tính toán. Nhờ đó người ta tạo ra được các bộ nguồn BT với tần số ra $f_1$ biến đổi tuỳ ý và điện áp ra $U_1$ hoặc dòng điện ra $I_1$ thay đổi theo các quy luật yêu cầu. Khối điều khiển ĐK có khả năng tính toán, chuyển đổi từ hệ phương trình này sang hệ phương trình khác để xử lý tín hiệu đặt $U_d$ và các tín hiệu phản hồi $U_{ph1}$, $U_{ph2}$, ... thành hai tín hiệu cơ bản để điều khiển tần số ($U_{df}$) và điều khiển duy trì từ thông động cơ ($U_{d\Phi}$). Sơ đồ khái quát hình 3-19 cũng cho ta thấy đa phần hệ BT-Đ là hệ tự động vòng kín, chỉ một số ít có luật điều khiển đơn giản đặt trước là hệ điều khiển vòng hở. Trước hết, cần hiểu được cấu tạo của bộ biến tần.



*Hình 3 - 19. Sơ đồ khái quát hệ BT - Đ*

***a) Bộ biến tần***

Ngày nay, các loại biến tần dùng máy điện quay hầu như không được sử dụng, mà người ta chỉ dùng các loại biến tần có van bán dẫn. Chức năng của bộ biến tần là biến đổi tần số và điện áp lưới tạo ra $f_1$ = var và $U_1$ = var để cấp vào stato động cơ. Nếu hai đại lượng đó ($f_1$ và $U_1$) có khả năng biến đổi độc lập với nhau thì càng tốt. Trước đây thỉnh thoảng ta còn gặp loại biến tần trực tiếp với tần số ra được điều chỉnh nhảy cấp và nhỏ hơn tần số lưới điện ($f_1 < f_\ell$). Hiện nay, chủ yếu người ta dùng loại "*biến tần có khâu trung gian một chiều*". Cấu tạo của nó gồm 3 khâu chính : Khâu chỉnh lưu (điều khiển hoặc không điều khiển) CL, khâu lọc (dung tính hoặc cảm tính) và khâu nghịch lưu (điện áp hoặc dòng điện) NL. Sơ đồ khối của nó như trên hình 3-20.



*Hình 3 - 20. Sơ đồ khối của bộ biến tần có khâu trung gian một chiều*

- *Khâu chỉnh lưu* có chức năng biến điện xoay chiều (từ lưới điện $U_1$ = const và $f_1$ = const) thành điện một chiều có điện áp $U_d$ (điều chỉnh hoặc không điều chỉnh). Nó được thiết lập nhờ các van tiristo, hoặc diot. Cũng có thể sử dụng bộ băm xung gồm chỉnh lưu diot và khoá băm tiristo.Yêu cầu điều chỉnh điện áp $U_1$ trên stato động cơ cũng có thể được thực hiện nhờ sự thay đổi $U_d$ của khâu chỉnh lưu.

- *Khâu nghịch lưu* làm nhiệm vụ biến điện một chiều $U_d$ (và $I_d$) thành điện xoay chiều 3 pha có tần số thay đổi theo yêu cầu để cấp vào stato động cơ. Trong nhiều trường hợp, khâu nghịch lưu đồng thời thực hiện cả việc thay đổi điện áp ra $U_1$, mà không cần nhờ đến khâu chỉnh lưu (khi đó dùng chỉnh lưu không điều khiển). Tuỳ theo sự thuận tiện thực hiện luật điều khiển động cơ, ta có thể dùng *nghịch lưu nguồn áp* hoặc *nghịch lưu nguồn dòng.*

- *Khâu lọc* có tác dụng làm giảm đập mạch cuả điện áp $U_d$ và dòng điện $I_d$ sau chỉnh lưu. Nếu dùng nghịch lưu áp thì khâu lọc có tụ lớn (để giữ điện áp $U_d$ = const), còn nếu dùng nghịch lưu dòng thì khâu lọc có cuộn cảm L lớn để giữ $I_d$ = const.

***b) Các luật (các nguyên lý) điều khiển tần số***

Đặc điểm làm việc của động cơ không đồng bộ là khi nối nó vào nguồn điện áp $U_{dm}$ và tần số $f_{dm}$ thì từ thông là $\Phi_{dm}$ và mạch từ ở vào trạng thái bắt đầu bão hoà. Như vậy mạch từ đã phát huy hết công suất, và động cơ làm việc ở chế độ tối ưu. Sđđ của cuộn dây stato $E_1$ tỷ lệ với từ thông $\Phi_1$ và tần số $f_1$ theo biểu thức :

$$\dot{E}_1 = K\dot{\Phi}_1 f_1 = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1 \qquad (3\text{-}55)$$

Khi điều khiển động cơ bằng cách thay đổi tần số $f_1$ thì từ thông có thể bị thay đổi và động cơ không đảm bảo được chế độ tối ưu nói trên. Vì vậy người ta đặt ra vấn đề tìm kiếm các luật điều khiển sao cho khi $f_1$ thay đổi, từ thông động cơ vẫn giữ được giá trị $\Phi = \Phi_{dm}$. Nó có thể là từ thông của stato $\Phi_1$ hoặc từ thông của roto $\Phi_2$ hoặc từ thông tổng của mạch từ hoá $\Phi_\mu$.

Có một số luật điều khiển sau đây :

**- Luật U/f không đổi** : $U_1/f_1$ = const

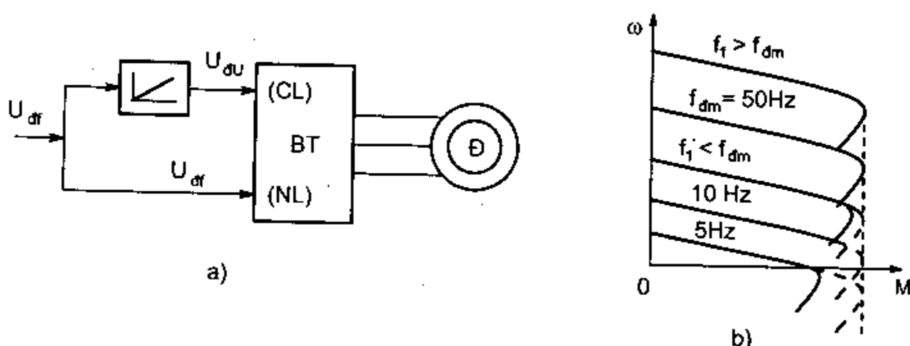
Từ (3-55) nếu bỏ qua sụt áp trên tổng trở stato $Z_1$, ta có $E_1 \approx U_1$, do đó :

$$\Phi_1 = K.\frac{U_1}{f_1} \qquad (3\text{-}56)$$

Như vậy, để giữ $\Phi_1 = \Phi_{1dm}$ = const, khi điều chỉnh tần số $f_1$, ta phải thay đổi $U_1$ một cách tỷ lệ :

$$U_1 = \frac{U_{dm}}{f_{dm}} \cdot f_1 \quad \text{hoặc} \quad U_1^* = f_1^* \qquad (3\text{-}57)$$

Luật (3-57) rất đơn giản, có thể thực hiện điều khiển vòng hở, bằng cách lấy tín hiệu đặt tần số $U_{df}$ làm chủ đạo, suy ra tín hiệu đặt điện áp $U_{du}$ qua khâu tỷ lệ để cùng điều chỉnh tần số và điện áp ra của bộ biến tần, như sơ đồ hình 3-21a.




*Hình 3 - 21. Sơ đồ khối và đặc tính cơ của hệ BT - Đ điều khiển theo luật U/f = const*

Về lí thuyết, khi điều khiển theo luật (3-57), $\omega \equiv f_1$ và $M_{th} \equiv U_1^2/f_1^2$ = const, nghĩa là momen tới hạn không đổi và ta có họ đặc tính cơ trên hình 3-21b, (các đường nét đứt).

Tuy nhiên, ở các cấp tần số nhỏ (cỡ dưới 10-15Hz) thì ảnh hưởng của sụt áp trên điện trở $R_1$ đáng kể làm cho điện áp $U_1$ bị giảm nhiều hơn giá trị tỷ lệ ở (3-57), do đó $M_{th}$ giảm nhiều (xem hình 3-21b các đường nét liền).

Vì vậy, người ta tính toán bổ sung $U_1$ ở những tần số thấp theo những công thức tính toán mạch điện.

**- Luật hệ số quá tải không đổi :** $\lambda = M_{th}/M_c$ = const

Luật U/f = const nêu trên với $M_{th}$ = const khi điều chỉnh tốc độ chỉ thích hợp nhất với phụ tải có $M_c$ = const. Nếu căn cứ điều kiện về sự phù hợp giữa momen cho phép của động cơ và momen cản, thì quy luật $\lambda$ = const sẽ ưu việt hơn. Từ quan hệ :

$$M_{th} \approx A\frac{U_1^2}{f_1^2} \quad \text{và} \quad \lambda = \frac{M_{th}}{M_c} = \text{const}$$

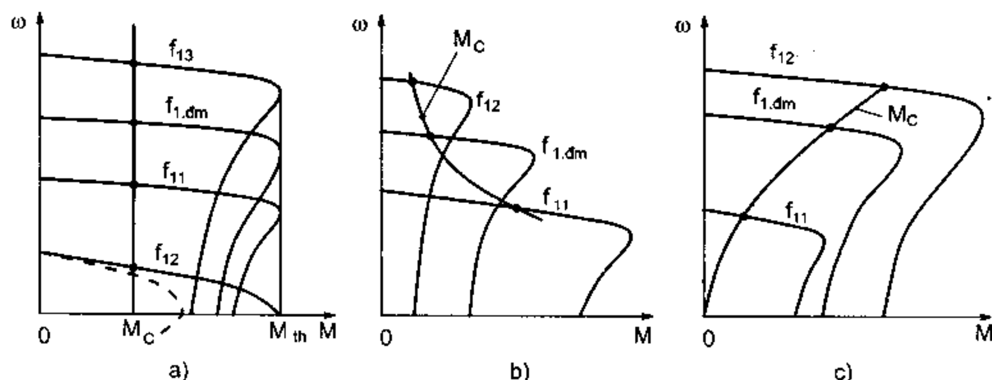
Ta có :

$$\frac{U_{dm}^2}{f_{dm}^2 M_{c.dm}} = \frac{U_1^2}{f_1^2 M_C} = \lambda = \text{const}$$

Do đó : $$\frac{U_1}{U_{dm}} = \frac{f_1}{f_{dm}}\sqrt{\frac{M_c}{M_{cdm}}} \quad \text{hoặc} \quad U_1^* = f_1^*\sqrt{M_c^*} \qquad (3\text{-}58)$$

Trong đó : $M_c = f(\omega)$ – phụ thuộc tốc độ theo đặc tính cơ của máy sản xuất.

Để điều khiển bộ biến tần theo luật này, ta cũng lấy tín hiệu đặt tần số làm chủ đạo ($U_{dt}$), kết hợp với hàm số $M_c = f(\omega) \approx f'(f_1)$ để tạo ra tín hiệu đặt điện áp $U_{du}$. Ưu điểm của luật này là momen tới hạn $M_{th}$ thay đổi phù hợp với $M_c$ ; dạng các đặc tính cơ điều chỉnh với các loại đặc tính cơ của máy sản xuất khác nhau sẽ như trên hình 3-22.




*Hình 3 - 22. Đặc tính cơ của hệ BT - Đ khi điều chỉnh theo luật λ = const với các loại phụ tải khác nhau a) $M_c^* = const$ ; b) $M_c^* \equiv 1/\omega^*$ ; c) $M_c^* \equiv \omega^{*2}$*

Chú ý, ở các cấp tần số thấp, điện áp $U_1$ cũng sẽ bị giảm hơn nhiều so với giá trị tính theo (3-58), do đó $M_{th}$ cũng bị giảm tương tự như ở trường hợp sử dụng luật U/f = const (xem đường nét đứt trên hình 3-22a)

**- Luật dòng điện không tải không đổi** : $I_0 = const$.

Nếu coi dòng điện không tải xấp xỉ dòng từ hoá ($I_0 \approx I_\mu$), thì giữ nó không đổi khi thay đổi tần số cũng có nghĩa duy trì từ thông tổng $\Phi_\mu = const$. Luật điều khiển này cho phép tạo ra được những đặc tính cơ gần như thẳng và có momen tới hạn lớn, nhưng việc lấy tín hiệu điều khiển tỷ lệ với $I_0$ hoặc $I_\mu$ (vốn là một thành phần trong dòng điện stato $I_1$) là rất khó khăn.

**- Luật điều khiển dòng stato theo hàm số của độ sụt tốc** : $I_1 = f(\Delta\omega)$

Trong quá trình biến đổi và tính toán các quan hệ điện từ của động cơ không đồng bộ người ta đã tìm ra quan hệ sau :

$$I_1 = \frac{\Phi_2}{L_{12}}\sqrt{1+(T_2\Delta\omega)^2} \qquad (3-59)$$

Trong đó : $\Phi_2$ – từ thông của roto

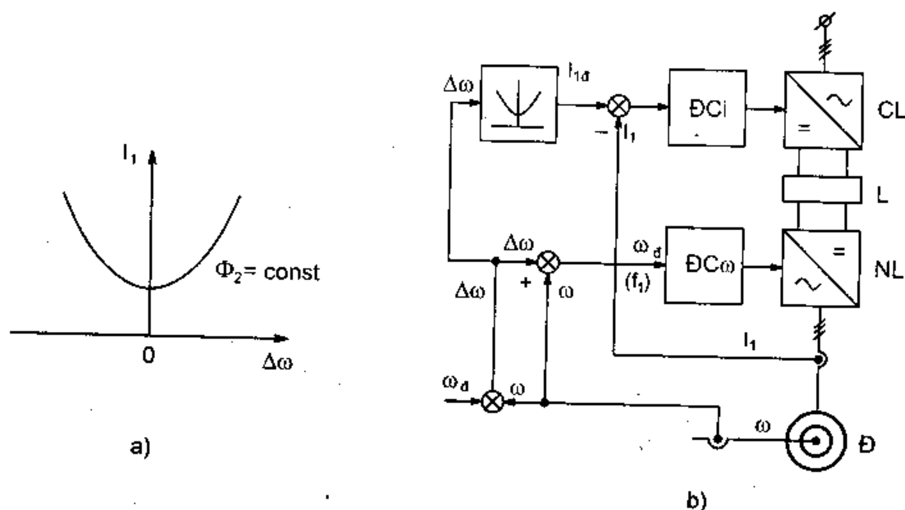
$L_{12}$ – hệ số hỗ cảm giữa cuộn dây stato và cuộn dây roto

$T_2 = L_2/R_2$ – hằng số thời gian của mạch roto

$\Delta\omega = \omega_0 - \omega$ : độ sụt tốc hoặc tốc độ trượt của roto.

Biểu thức trên cho thấy rằng, nếu giữ $\Phi_2 = \Phi_{2dm}$ = const thì $I_1$ phụ thuộc vào $\Delta\omega$ theo quan hệ như trên hình 3-23a.

Nói cách khác, khi thay đổi tần số, nếu ta lấy tín hiệu sụt tốc $\Delta\omega$ để tạo ra hàm $I_1(\Delta\omega)$ dạng hình 3-23a rồi điều khiển bộ biến tần đảm bảo dòng $I_1$ theo quy luật đó thì từ thông roto $\Phi_2$ sẽ được giữ không đổi và bằng định mức. Việc duy trì $\Phi_{2dm}$ = const cho phép điều khiển momen động cơ chính xác và tạo được các đặc tính điều chỉnh tốt. Hơn nữa, việc điều khiển dòng điện $I_1$ cũng được thực hiện dễ dàng, thông qua bộ biến tần có nghịch lưu dòng, hoặc điều khiển gián tiếp qua đại lượng $U_1$ của bộ biến tần có nghịch lưu áp.




***Hình 3 - 23**. a) Quan hệ $I_1 = f(\Delta\omega)$ khi giữ $\Phi_2 = \Phi_{2dm}$ = const ;*
*b) Sơ đồ điều khiển hệ BT - Đ theo luật $I_1 = f(\Delta\omega)$*

Một sơ đồ minh hoạ cho luật $I_1 = f(\Delta\omega)$ được giới thiệu trên hình 3-23. Ở đây, từ tín hiệu đặt $\omega_d$ và tín hiệu phản hồi $\omega$ ta lấy được tín hiệu $\Delta\omega$. Sử dụng bộ tạo hàm dạng như hình 3-23a thì từ $\Delta\omega$ ta sẽ có tín hiệu đặt dòng điện $I_{1d}$ mong muốn để điều khiển bộ chỉnh lưu. Mặt khác, tín hiệu đặt $\omega_d$ tỷ lệ với tần số đặt sẽ

trực tiếp điều khiển bộ nghịch lưu. ĐCi và ĐCω là các bộ điều chỉnh tương ứng trong mạch vòng điều chỉnh dòng điện và mạch vòng điều chỉnh tốc độ.

**- Luật điều khiển véc tơ**

Từ các luật điều khiển đã nêu, ta nhận xét rằng, việc điều khiển động cơ sẽ là chính xác nhất nếu ta có được những thông tin về giá trị tức thời và vị trí không gian của từ thông roto $\Phi_2$, rồi điều khiển để giữ véc tơ $\Phi_2 = \Phi_{2max}$ = const. Đó chính là ý tưởng của luật điều khiển vectơ.

Ngày nay, lý thuyết " máy điện tổng quát" kết hợp với các thiết bị tính toán điều khiển cho phép ta thực hiện được ý tưởng đó. Trước hết, lấy tín hiệu về giá trị tức thời của dòng điện 3 pha và từ thông trong khe hở không khí (hoặc thành phần dòng điện tỷ lệ với nó), thực hiện biến đổi chúng về các đại lượng tương ứng của máy điện hai pha đẳng trị, sau đó tiến hành biến đổi hệ toạ độ hai pha (phép chuyển vị) mang các thành phần của các đại lượng trên về các trục định hướng theo từ trường (quay với tốc độ $\omega_0$). Các thành phần dòng điện trên các trục này sẽ được lưu lại để so sánh với các giá trị đặt của chúng. Nhờ đó ta nhận được các tín hiệu điều khiển từ thông và momen trong hệ trục hai pha. Cuối cùng ta thực hiện biến đổi ngược lại từ hệ trục hai pha về ba pha và sẽ nhận được các tín hiệu thực để điều khiển bộ biến tần ba pha. Một sơ đồ điều khiển dạng này – hệ TRANSVECTOR – sẽ được nêu trong chương IV.

Ngoài ra, còn có luật điều khiển giữ tổn thất cực tiểu trong động cơ, luật điều khiển giữ cực tiểu của dòng điện stato. Khi cần có thể xem ở các tài liệu chuyên khảo.

### 3.4.5. Điều khiển động cơ không đồng bộ bằng sơ đồ tầng

Đối với các động cơ roto dây quấn công suất lớn, người ta còn sử dụng sơ đồ đặc biệt gọi là "sơ đồ nối tầng" nối một bộ biến đổi trong mạch roto, tạo ra sđđ phụ có giá trị thay đổi, nhờ đó thay đổi được dòng điện $I_2$, momen động cơ và tốc độ làm việc. Phương pháp này có lợi về mặt năng lượng nhưng thiết bị phức tạp, và sẽ được trình bày trong chương IV.

## 3.5. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ ĐỒNG BỘ

Về mặt cấu tạo, động cơ đồng bộ gần với động cơ không đồng bộ vì nó làm việc trên nguyên tắc của từ trường quay do dòng điện xoay chiều tạo ra. Tuy nhiên, về mặt điều khiển nó lại có những đặc điểm gần với động cơ một chiều vì nó có phần cảm (phần kích từ ở roto) và phần ứng (dây quấn stato) tách biệt nhau; momen động cơ được sinh ra nhờ sự tác dụng tương hỗ giữa từ thông và dòng điện của hai phần đó. Do đó nguyên tắc chung để điều khiển toạ độ của động cơ này vẫn là tác động vào từ trường quay, nhưng các luật

điều khiển liên quan nhiều đến phần kích từ và các đặc tính cơ điều chỉnh có dạng gần với động cơ một chiều.

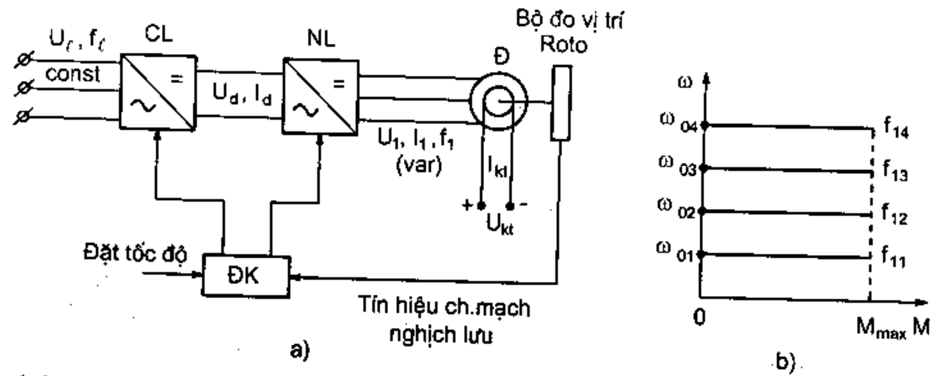
Người ta thường quan tâm đến vấn đề điều chỉnh tốc độ và momen động cơ khi làm việc, nguyên tắc khởi động lên tốc độ đồng bộ và trạng thái kích từ động cơ. Còn trạng thái hãm thì chỉ áp dụng phương pháp hãm động năng mà thôi.

### 3.5.1. Điều chỉnh tốc độ và momen

Vì động cơ đồng bộ chỉ quay với tốc độ đồng bộ (tốc độ từ trường quay), nghĩa là :

$$\omega = \omega_0 = \frac{2\pi}{p}.f_1 \qquad (3\text{-}60)$$

Nên để điều chỉnh tốc độ, người ta điều chỉnh tần số dòng điện stato $f_1$. Khi đó động cơ được nối vào bộ biến tần theo sơ đồ hình 3-24. Đa số trường hợp người ta dùng biến tần có khâu trung gian một chiều với nghịch lưu nguồn áp hoặc nguồn dòng. Khi đặt cho nghịch lưu làm việc ở một tần số $f_1$ nào đó, động cơ sẽ làm việc ổn định ở tốc độ $\omega_1$ tương ứng theo (3-60) và ta được một đặc tính cơ tuyệt đối cứng trong vùng phụ tải cho phép ($M_c < M_{max}$) – hình 3-24b.




*Hình 3 - 24. a) Sơ đồ nguyên lý hệ BT - Đ đồng bộ ; b) Họ đặc tính cơ khi điều chỉnh tần số*

Trong sơ đồ, bộ đo vị trí roto lấy tín hiệu (ở dạng dãy xung) đồng bộ với tần số đặt $f_{1.d}$, để thực hiện chuyển mạch các van bán dẫn của nghịch lưu, đảm bảo cho hệ làm việc ổn định ở tốc độ đặt. Tổ hợp "bộ đo vị trí roto + nghịch lưu" tương đương như bộ "cổ góp + chổi than" của động cơ một chiều để tạo ra dòng điện "phần ứng" $I_1$ ở stato, còn từ thông Φ kích từ ở roto được giữ không đổi.

Theo nguyên lý đó, khi thay đổi tần số $f_1$ ta có thể điều chỉnh cả $U_1$, $I_1$ của khâu nghịch lưu hoặc $U_d$, $I_d$ của khâu chỉnh lưu để thực hiện điều chỉnh các thông số M và ω của động cơ theo những yêu cầu nhất định. Tương tự như các luật điều khiển đã xét đối với động cơ không đồng bộ khi điều chỉnh tần số. Người ta thường áp dụng hai luật điều khiển sau đây :

***a) Giữ từ thông động cơ không đổi, nhờ đó duy trì tỷ số $E/x_s$ = const***

Từ phương trình momen (phương trình đặc tính góc) (2-83) :

$$M = \frac{3EU_1}{\omega_0 x_s}\sin\theta$$

Với những góc lệch giữa véc tơ $U_1$ và E không đổi ($\theta$ = const) và $E/X_s$ = const ta được :

$$M = \frac{3U_1 E\sin\theta}{x_s}.\frac{1}{\omega_0} \equiv \frac{1}{\omega} \qquad (3\text{-}61)$$

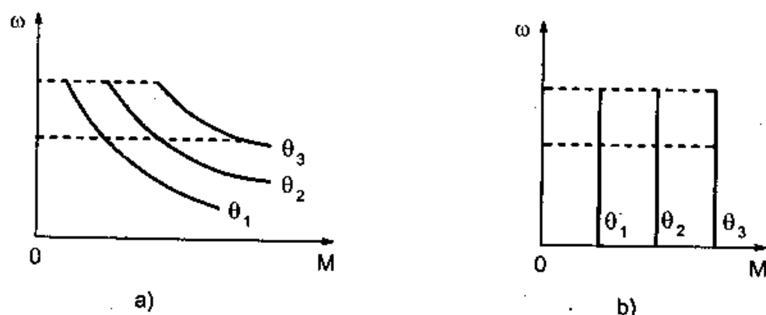
(trong đó $\omega = \omega_0$) , tức là momen tỷ lệ nghịch với tốc độ. Ta được họ đặc tính trên hình 3-25a.

***b) Giữ từ thông động cơ không đổi, đồng thời thay đổi $U_1$ tỷ lệ với tần số $f_1$: $U_1/f_1$ = const.***

Tương tự như trên, khi giữ từ thông không đổi ta có $E/x_s$ = const. Mặt khác tần số $f_1$ tỷ lệ với $\omega_0$ nên việc giữ quan hệ $U/f_1$ = const cũng có nghĩa là giữ $U_1/\omega_0$ = const. Do đó :

$$M = \frac{3E}{x_s}\frac{U_1}{\omega_0}\sin\theta = \text{const} \qquad (3\text{-}62)$$

Nghĩa là, với các $\theta$ = const, khi điều chỉnh tần số ta được các đặc tính M = const như trên hình 3-25b.




*Hình 3 - 25. a) Các đặc tính momen khi thay đổi tần số theo luật $E/x_s$ = const;*
*b) Các đặc tính momen khi thay đổi tần số theo luật U/f = const*

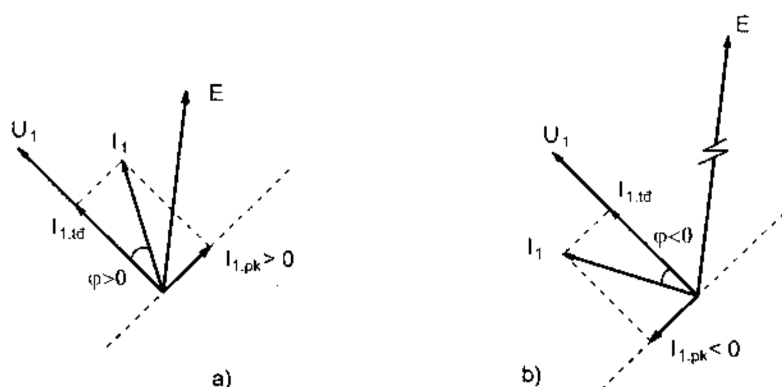
## 3.5.2. Điều chỉnh kích từ động cơ đồng bộ – máy bù công suất phản kháng

Một trong những ưu điểm quan trọng của động cơ đồng bộ là có thể điều chỉnh được công suất phản kháng mà nó tiêu thụ từ lưới, nghĩa là điều chỉnh

được hệ số công suất cosφ lên đến giá trị lớn nhất cosφ = 1 và thậm chí nó có thể phát ra công suất phản kháng trả về lưới điện. Lúc đó động cơ đóng vai trò một máy bù công suất phản kháng.

Hiện tượng trên được giải thích như sau : Bình thường động cơ đồng bộ thuộc loại tải có tính cảm kháng vì cuộn dây stato có điện cảm. Dòng điện $I_1$ chậm pha so với điện áp $U_1$ như đồ thị vectơ hình 3-26a : φ > 0. Thành phần dòng điện phản kháng $I_{1pk} = I_1 \sin\varphi > 0$ cấp vào cuộn dây stato một lượng công suất phản kháng để tạo ra từ thông stato. Từ thông tổng của động cơ sẽ là tổng hợp của từ thông này và từ thông roto do dòng kích từ một chiều tạo ra. Vì vậy người ta gọi trường hợp này là "thiếu kích từ".

Nếu tăng dòng điện kích từ roto lên, thì lượng từ thông yêu cầu lấy từ cuộn dây stato sẽ giảm xuống, nghĩa là $I_1\sin\varphi$ giảm, tương ứng góc φ giảm, hệ số công suất cosφ tăng lên. Khi ở roto đạt một lượng "kích từ đủ" nào đó thì góc φ = 0, $I_{1pk} = 0$, động cơ không lấy công suất phản kháng của nguồn nữa và hệ số cosφ = 1.




***Hình 3 - 26.*** *a) Đồ thị vectơ của động cơ đồng bộ trong trường hợp thiếu kích từ ;*
*b) Đồ thị vectơ của động cơ đồng bộ trong trường hợp quá kích từ*

Nếu tiếp tục tăng từ thông kích từ ở roto, thì φ < 0, vectơ dòng điện $I_1$ sẽ vượt trước vectơ $U_1$ ; $I_{1pk} < 0$, nghĩa là động cơ sẽ cung cấp dòng điện phản kháng và tương ứng là cấp công suất phản kháng cho nguồn (hoặc lưới điện). Người ta gọi đây là trạng thái quá kích từ và động cơ đồng bộ làm việc như một máy bù công suất phản kháng. Đồ thị vectơ của động cơ ở trường hợp này vẽ trên hình 3-26b.

Trong hệ "Biến tần - Động cơ đồng bộ" trạng thái vừa nêu có thể tạo ra bằng cách điều khiển khâu nghịch lưu : cho các van chuyển mạch sớm theo nguyên lý chuyển mạch tự nhiên của nghịch lưu phụ thuộc, các van được chuyển mạch nhờ chính điện áp $U_1$. Lúc đó ta sẽ được φ < 0.

### 3.5.3. Khởi động động cơ đồng bộ

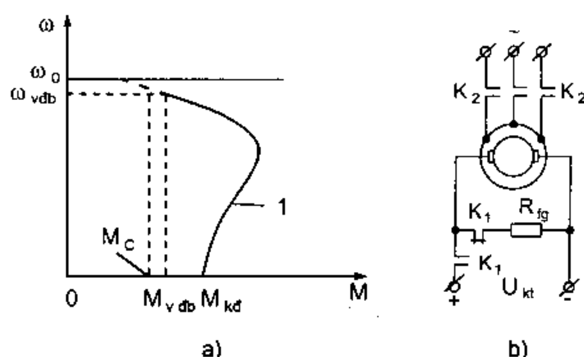
Đa số các động cơ đồng bộ dùng trong công nghiệp đều sử dụng phương pháp khởi động không đồng bộ. Các động cơ này được chế tạo với roto có hai cuộn dây : cuộn kích từ (một chiều) để tạo ra từ thông và momen khi làm việc, và cuộn khởi động kiểu lồng sóc. Quá trình khởi động được chia thành hai giai đoạn :

*a) Giai đoạn khởi động không đồng bộ*

Trước hết cuộn kích từ được đấu vào một điện trở phóng điện, để bảo vệ cuộn dây khỏi bị quá điện áp lúc khởi động (nhờ tiếp điểm K1 thường kín trên hình 3-27b). Thường điện trở này bằng khoảng 8÷10 lần điện trở cuộn dây : $R_{fg} \approx (8 \div 10)R_{kt}$. Tiếp đó, đóng điện xoay chiều vào stato nhờ tiếp điểm K2, động cơ sẽ được khởi động như một động cơ không đồng bộ lồng sóc. Đặc tính khởi động là đường 1 trên hình 3-27a.

*b) Giai đoạn đưa vào đồng bộ*

Ở cuối giai đoạn đầu, khi tốc độ động cơ đạt đến giá trị "tốc độ vào đồng bộ" $\omega_{vdb}$ (thông thường $\omega_{vdb} \approx (0,95 \div 0,98)\omega_0$) Ta cho công tắc tơ $K_1$ tác động, loại điện trở phóng điện $R_{fg}$ ($K_1$ thường kín mở ra) và đóng điện áp kích từ một chiều vào cuộn kích từ roto, tạo ra momen đưa động cơ vào tốc độ đồng bộ. Điều kiện quan trọng là ở tốc độ $\omega_{vdb}$, momen động cơ phải lớn hơn momen cản : $M_{vdb} > M_c$. Chú ý rằng ở giai đoạn đầu, động cơ có thể được đóng điện trực tiếp vào điện áp làm việc $U_1$ nếu công suất hoặc dòng điện động cơ không lớn, hoặc đóng điện qua một thiết bị khởi động để hạn chế dòng điện như điện kháng phụ, điện trở phụ, biến áp tự ngẫu, bộ giảm áp stato.



*Hình 3 - 27. a) Đặc tính khởi động của động cơ đồng bộ; b) Sơ đồ nối dây để khởi động hai giai đoạn*

Đối với các động cơ công suất không lớn, có điều khiển bằng bộ biến tần, và đặc biệt là các động cơ có roto nam châm vĩnh cửu, việc khởi động được tiến hành theo phương pháp điều khiển tần số có điều chỉnh tự động momen động cơ.

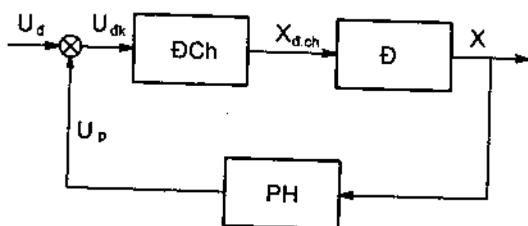
# 3.6. ĐIỀU CHỈNH TỰ ĐỘNG CÁC THÔNG SỐ ĐẦU RA CỦA ĐỘNG CƠ

## 3.6.1. Nguyên lý chung

Để cải thiện các chỉ tiêu chất lượng của hệ truyền động điều chỉnh, đòi hỏi phải thực hiện các phương pháp điều chỉnh tự động, tạo ra khả năng biến đổi thông số điều chỉnh (thông số đầu vào $X_{dch}$) một cách liên tục theo mức độ thay đổi của thông số được điều chỉnh ở đầu ra (toạ độ X). Muốn vậy, ta phải thiết lập hệ điều khiển vòng kín, lấy tín hiệu phản hồi từ đầu ra, trực tiếp tỷ lệ với toạ độ X hoặc gián tiếp qua một đại lượng liên quan đến X, cho tác động lên thông số đầu vào, làm cho thông số này thay đổi tự động theo chiều hướng đưa đại lượng X đạt đến giá trị đặt trước.

Cấu trúc chung của hệ điều chỉnh tự động vòng kín như trên hình 3-28. Các tín hiệu điều khiển ở đầu vào thường là điện áp : $U_d$ - tín hiệu đặt, tỷ lệ với giá trị đặt của thông số được điều chỉnh $X_d$ ($U_d \equiv X_d$) ; $U_p$ – tín hiệu phản hồi, tỷ lệ với giá trị thực của thông số được điều chỉnh X ($U_p \equiv X$) ; $\Delta U = U_{dk}$ - tín hiệu sai lệch, phản ánh mức độ sai lệch giữa giá trị thực của thông số X với giá trị mong muốn đã đặt trước $X_d$, nó chính là tín hiệu $U_{dk}$ dùng để điều khiển phần tử điều chỉnh ĐCh sao cho thông số của nó tự động thay đổi, tác động vào động cơ để đủ làm cho giá trị X tiến đến $X_d$.

Theo nguyên lý đó, trước hết ta phải sử dụng phần tử điều chỉnh ĐCh dạng tự động hoá, nghĩa là thông số của nó có thể điều chỉnh nhờ điện áp $U_{dk}$ : $X_{dch} = f(U_{dk})$. Khâu phản hồi PH là một bộ cảm biến, biến đổi đại lượng X thành điện áp: $U_p = K_pX$.



*Hình 3 - 28. Hệ điều chỉnh tự động (toạ độ X) vòng kín*

Theo lý thuyết điều khiển tự động có hai nguyên lý điều chỉnh cơ bản: điều chỉnh theo sai lệch và điều chỉnh bù nhiễu.

### *a) Điều chỉnh theo sai lệch*

Điều chỉnh theo sai lệch được thực hiện bằng cách lấy tín hiệu "phản hồi âm" theo toạ độ được điều chỉnh, có thể trực tiếp từ nó (từ X) hoặc từ một đại lượng liên quan đến nó, cho tác động ngược dấu với tín hiệu đặt. Lúc đó ta có :

$$U_{dk} = \Delta U = U_d - U_p = U_d - K_pX \qquad (3\text{-}63)$$

Nhờ đó, nếu trong quá trình làm việc, vì một lý do nào đó mà X tăng lên so với giá trị đặt $X_đ$ chẳng hạn thì $U_{đk}$ sẽ bị giảm xuống, làm cho thông số điều chỉnh $X_{đch}$ cũng sẽ giảm theo và kết quả là toạ độ X của động cơ sẽ giảm xuống, trở về giá trị đặt $X_đ$ với một độ chính xác nào đó. Ngược lại, nếu X giảm so với $X_đ$, quá trình cũng xảy ra tương tự để cho X tăng trở lại.

***b) Điều chỉnh theo nguyên lý bù nhiễu***

Nguyên lý này được thực hiện nhờ mạch "phản hồi dương" theo đại lượng nhiễu loạn N, tín hiệu phản hồi $U_p = K_pN$ được đưa đến đầu vào của hệ, tác động cùng dấu với tín hiệu đặt $U_đ$, do đó :

$$U_{đk} = U_đ + K_pN \qquad (3\text{-}64)$$

Nhiễu càng tăng thì thông số đầu ra càng giảm, nhưng đồng thời tín hiệu điều khiển cũng tăng, làm phục hồi thông số đầu ra X về giá trị đặt.

Sử dụng phản hồi dương theo nhiễu có khả năng khử (bù) bất kỳ sai số nào của thông số được điều chỉnh (đầu ra), thậm chí có thể "bù dư", nhưng dễ gây mất ổn định cho hệ thống. Vì vậy người ta thường dùng với một hệ số phản hồi $K_p$ vừa đủ, hoặc sử dụng kết hợp với một mạch phản hồi âm nào đó, gọi là phản hồi hỗn hợp.

Sau đây ta xét nguyên tắc điều chỉnh tự động tốc độ và momen (dòng điện phần ứng) của hệ "bộ biến đổi - động cơ một chiều" BĐ - Đ làm ví dụ.

## 3.6.2. Điều chỉnh tự động tốc độ động cơ trong hệ Bộ biến đổi - Động cơ một chiều

Việc điều chỉnh tốc độ trong hệ BĐ - Đ được thực hiện bằng cách thay đổi điện áp phần ứng động cơ, nghĩa là thay đổi sđđ của bộ biến đổi theo các phương trình (3-36), (3-37) :

$$\omega = \frac{E_b}{K\Phi_{đm}} - \frac{R_{u.t}}{K\Phi_{đm}} I_ư = \frac{E_b}{K\Phi_{đm}} - \frac{R_{ưt}}{(K\Phi_{đm})^2} M \qquad (3\text{-}64)$$

Trong đó : $E_b = K_bU_{đk}$ – phụ thuộc vào tín hiệu điều khiển $U_{đk}$, nếu bộ biến đổi là tuyến tính thì $K_b$ = const ; $R_{ưt} = R_ư + R_b$ - điện trở tổng của mạch phần ứng.

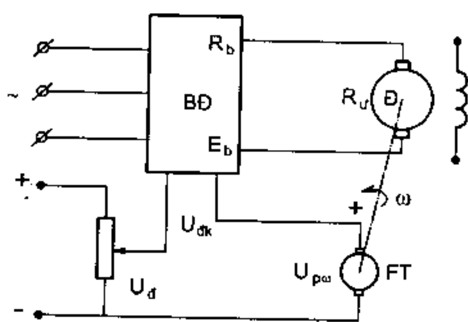
Như đã biết, do ảnh hưởng của điện trở bộ biến đổi $R_b$ nên độ cứng đặc tính cơ của hệ hở $\beta_u$ không cao, làm tăng sai số tốc độ $\Delta\omega$ và giảm dải điều chỉnh D. Để cải thiện các chỉ tiêu đó ta thực hiện phương pháp điều chỉnh tự động. Sau đây là một số sơ đồ thường gặp :

*a) **Dùng mạch phản hồi âm tốc độ*** (hình 3-29)

Sơ đồ này thuộc nguyên lý điều chỉnh theo sai lệch. Đại lượng được điều chỉnh ω sẽ được đo lường nhờ bộ cảm biến là máy phát tốc FT lắp trên trục động cơ, điện áp ra của nó tỷ lệ với tốc độ động cơ và được dùng làm tín hiệu phản hồi tốc độ :

$$U_{p\omega} = U_{FT} = K_{p\omega}.\omega \quad (3\text{-}65)$$

Trong đó, $K_{p\omega} = K_{FT}$ – hệ số phản hồi tốc độ (ở đây nó bằng hệ số khuếch đại của máy phát tốc $K_{FT}$).




***Hình 3 - 29.** Sơ đồ nguyên lý hệ Bộ biến đổi - Động cơ điều khiển vòng kín có phản hồi âm tốc độ*

Điện áp điều khiển đưa vào mạch khống chế của bộ biến đổi sẽ là :

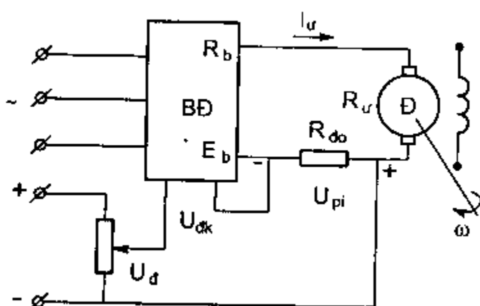
$$U_{dk} = U_d - U_{p\omega} = U_d - K_{p\omega}.\omega \qquad (3\text{-}66)$$

Nhờ đó, nếu vì một nguyên nhân nào đó mà tốc độ ω của động cơ tăng lên chẳng hạn, theo (3-66) ta thấy $U_{dk}$ sẽ giảm xuống, làm cho sđđ của bộ biến đổi $E_b$ ($E_b = K_b U_{dk}$) giảm theo, kết quả là tốc độ ω sẽ giảm trở về giá trị cũ (giá trị đặt).

*b) **Dùng phản hồi dương dòng điện*** (hình 3-30)

Sơ đồ này thuộc nguyên lý bù nhiễu. Đối với thông số đầu ra là tốc độ ω, nhiễu cơ bản là momen M hoặc dòng điện $I_ư$. Để lấy tín hiệu phản hồi tỷ lệ với nhiễu $I_ư$, trên sơ đồ hình 3-30 ta dùng một điện trở có giá trị không đổi theo nhiệt độ $R_{do}$ nối trong mạch phần ứng. Điện áp rơi trên $R_{do}$ do $I_ư$ gây ra sẽ tỷ lệ với $I_ư$ và được dùng làm điện áp phản hồi dòng điện :

$$U_{pi} = \Delta U = R_{do}I_ư = K_{pi}I_ư \quad (3\text{-}67)$$




***Hình 3 - 30.** Sơ đồ nguyên lý hệ Bộ biến đổi - Động cơ điều khiển vòng kín có phản hồi dương dòng điện*

Trong đó, $K_{pi}$ – hệ số phản hồi dòng điện, trong trường hợp này nó bằng điện trở đo ($K_{pi} = R_{do}$).

Điện áp phản hồi được nối cùng cực tính với điện áp đặt, do đó ta được biểu thức của $U_{dk}$ :

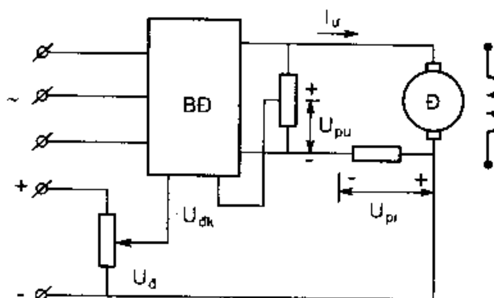
$$U_{dk} = U_d + U_{pi} = U_d + K_{pi}\, I_ư \qquad (3\text{-}68)$$

Khi phụ tải $M_c$ của động cơ tăng lên chẳng hạn, momen của động cơ sẽ tăng theo để tự cân bằng theo nguyên lý ổn định tĩnh, dòng điện phần ứng sẽ tăng theo một cách tỷ lệ, còn tốc độ động cơ bị giảm xuống theo quan hệ đặc tính cơ.

Tuy nhiên, đồng thời với diễn biến đó, điện áp phản hồi dòng $U_{pi} = K_{pi}I$ cũng tăng lên, $U_{dk}$ tăng lên theo (3-68), kết quả là sđđ của bộ biến đổi $E_b$ tăng và tốc độ sẽ tăng trở lại giá trị đặt với một độ chính xác nào đó.

*c) Dùng phản hồi hỗn hợp*

Phản hồi hỗn hợp gồm phản hồi âm theo đại lượng được điều chỉnh (ω) và phản hồi dương theo nhiễu (theo dòng điện). Thực tế do yêu cầu làm tăng độ ổn định của hệ điều chỉnh tự động nên người ta chỉ lấy phản hồi dương dòng điện với một lượng ít (hệ số $K_{pi}$ nhỏ) và phụ thêm một lượng phản hồi âm theo nguyên lý điều chỉnh sai lệch. Có thể phần phản hồi này không lấy trực tiếp từ đại lượng được điều chỉnh là ω, mà lấy từ đại lượng liên quan với nó là điện áp phần ứng $U_ư$. Sơ đồ nguyên lý của hệ như trên hình 3-31. Việc dùng phản hồi như vậy là đủ hiệu quả, đồng thời đơn giản, tránh dùng máy phát tốc (đắt tiền và phải lắp ráp cầu kỳ).



***Hình 3 - 31.*** *Sơ đồ nguyên lý hệ Bộ biến đổi - Động cơ có phản hồi hỗn hợp*

Từ sơ đồ nguyên lý ta có :

$$U_{dk} = U_đ + U_{pi} - U_{pu} = U_đ + K_{pi}I_ư - K_{pu}U_ư \qquad (3\text{-}69)$$

Tác dụng duy trì tốc độ động cơ khi phụ tải thay đổi (tức khi $I_ư$ và $U_ư$ thay đổi) cũng tương tự như đã mô tả ở cả hai trường hợp trên.

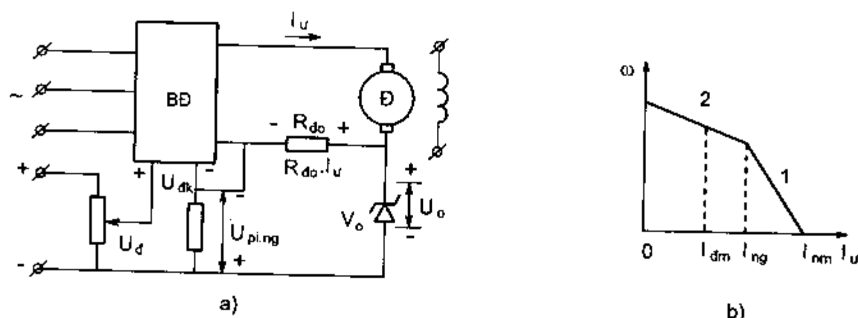
## 3.6.3. Điều chỉnh tự động momen và dòng điện trong hệ BĐ - Đ

Điều chỉnh tự động momen và dòng điện thường đặt ra khi cần hạn chế các đại lượng này dưới giá trị cho phép để đảm bảo cho hệ thống và động cơ làm việc an toàn. Vì vậy các mạch phản hồi chỉ hoạt động trong vùng momen và dòng điện lớn so với định mức, ví dụ như các trường hợp quá tải, ngắn mạch, khởi động, hãm và đảo chiều quay động cơ. Khi làm việc với phụ tải bình thường, mạch phản hồi sẽ được loại ra. Người ta gọi đó là "phản hồi có ngắt" hoặc phản hồi theo đặc tính rơ le.

Sau đây là các sơ đồ thường gặp.

***a) Sơ đồ dùng phản hồi âm dòng điện có ngắt*** (hình 3-32)

Với thông số được điều chỉnh là dòng điện $I_ư$ (hoặc momen M), dùng nguyên tắc điều chỉnh theo sai lệch, ta lấy tín hiệu phản hồi âm theo dòng điện trên điện trở $R_{do}$, kết hợp một khâu "ngắt" dùng diot ổn áp $V_0$ có ngưỡng thông là $U_0 = R_{do}I_{ng}$ ($I_{ng}$ gọi là dòng ngắt, là giá trị chọn trước để cho khâu phản hồi bắt đầu làm việc).




*Hình 3 - 32. a) Sơ đồ nguyên lý hệ BĐ - Đ có phản hồi âm dòng điện có ngắt ;*
*b) Đặc tính máy xúc*

Khi dòng điện $I_ư > I_{ng}$ , $V_0$ sẽ thông và điện áp phản hồi sẽ là :

$$U_{pi.ng} = R_{do}I_ư - U_0 = R_{do}(I_ư - I_{ng}) \qquad (3\text{-}70)$$

Điện áp điều khiển đưa vào bộ biến đổi sẽ là :

$$U_{dk} = U_d - U_{pi.ng} = (U_d + R_{do} I_{ng}) - R_{do}I_ư \qquad (3\text{-}71)$$

và sđđ của bộ biến đổi sẽ phụ thuộc vào dòng $I_ư$ :

$$E_b = K_bU_{dk} = K_b(U_d + R_{do} I_{ng}) - K_b R_{do}I_ư \qquad (3\text{-}72)$$

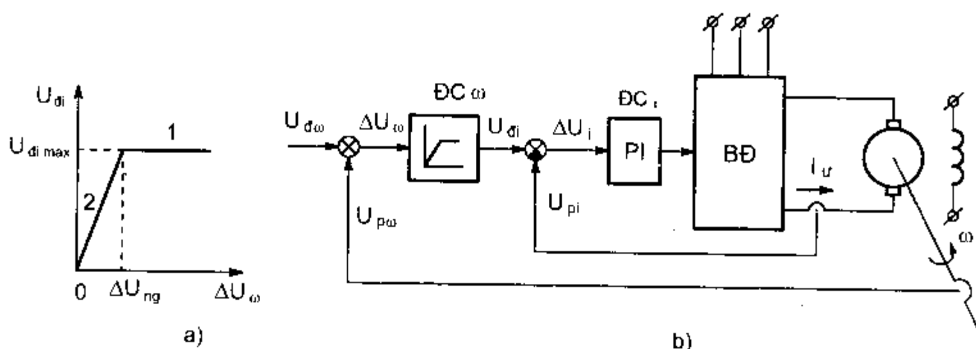
Khi dòng điện tăng ($I_ư > I_{ng}$), $E_b$ sẽ giảm và tốc độ động cơ sẽ giảm mạnh sao cho khi $\omega = 0$ (ngắn mạch) thì $I_{nm} = I_{cp}$. Ta được đoạn 1 trên đường đặc tính cơ hình 3-32b.

Khi dòng điện không lớn ($I_ư \le I_{ng}$), điện áp rơi trên điện trở $R_{do}$ nhỏ hơn ngưỡng thông của diot ổn áp ($R_{do}I_ư < U_0$), van này khoá, khâu phản hồi âm dòng sẽ bị ngắt ($U_{pi.ng} = 0$) . Như vậy trong vùng dòng điện $0 < I_ư < I_{ng}$, hệ sẽ làm việc trên đặc tính tự nhiên, ta được đoạn 2 trên hình 3-32b.

Đặc tính cơ hai đoạn gấp khúc như trên được gọi là "*đặc tính máy xúc*" và rất hay gặp trong thực tế. Người ta thường chọn $I_{ng} \approx (1,5 \div 1,7)\, I_{dm}$ ; $I_{nm} = I_{cp} = (2 \div 2,5)\, I_{dm}$.

***b) Sơ đồ dùng khâu hạn chế tín hiệu đặt***

Đây là nguyên tắc được dùng trong các "hệ điều khiển tối ưu modul" (hai mạch vòng điều chỉnh). Mạch vòng ngoài dùng để điều chỉnh tốc độ, có bộ điều chỉnh $ĐC_{\omega}$ với đặc tính dạng bão hoà như trên hình 3-33a. Nó tạo ra tín hiệu đặt cho mạch vòng điều chỉnh dòng điện $U_{đi}$, có giá trị cực đại hạn chế $U_{đimax}$ ; tương ứng với $U_{đimax}$ dòng điện phần ứng được hạn chế ở giá trị $I_{ưmax} = I_{cp} = const$.




*Hình 3 - 33. Nguyên tắc hạn chế dòng điện và momen nhờ khâu hạn chế ở đầu vào*
*a) Đặc tính khâu hạn chế ; b) Sơ đồ nguyên lý toàn hệ thống*

Ta xét quá trình khởi động làm ví dụ. Ban đầu, tốc độ $\omega = 0$ và tăng dần nhưng giá trị còn bé, vì vậy $\Delta U_{\omega} = U_{đ\omega} - U_{p\omega}$ có giá trị lớn hơn ngưỡng bão hoà $\Delta U_{ng}$ : $\Delta U_{\omega} > \Delta U_{ng}$, do đó khâu $ĐC_{\omega}$ làm việc trong vùng bão hoà (nhánh 1 hình 3-33a) với tín hiệu ra $U_{đi} = U_{đi.max} = const$.

Nhờ giữ tín hiệu đặt dòng điện không đổi, dòng điện trong thời gian khởi động và tăng tốc được duy trì không đổi: $I_{KĐ} = I_{ưmax} = const$.

Cuối quá trình tăng tốc, tốc độ ω và lượng phản hồi $U_{p\omega}$ đủ lớn, do đó $\Delta U_{\omega}$ giảm nhỏ, chừng nào $\Delta U_{\omega} < \Delta U_{ng}$ thì khâu $ĐC_{\omega}$ ra khỏi vùng bão hoà và làm việc trên nhánh 2 của đặc tính hình 3-33a, $U_{đi}$ giảm xuống theo mức độ tăng của tốc độ ω, dòng điện $I_ư$ giảm dần và hệ thống tiến đến điểm làm việc xác lập với dòng điện tải $I_ư = I_c$.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Có những chỉ tiêu chất lượng nào dùng để đánh giá các phương pháp điều khiển động cơ ? Nêu định nghĩa và trình bày ý nghĩa của từng chỉ tiêu.

2. Phân tích ý nghĩa của việc điều chỉnh tốc độ và điều chỉnh dòng điện (hoặc momen), nêu yêu cầu thực tế của việc điều chỉnh từng thông số ? Những chỉ tiêu cần đạt được của việc điều chỉnh mỗi thông số là gì ?

3. Từ biểu thức nào ta rút ra nhận xét chung về các phương pháp điều khiển động cơ điện một chiều và động cơ điện không đồng bộ ? Mỗi loại động cơ có mấy phương pháp điều khiển ? Những phương pháp nào được coi là có hiệu quả ?

4. Những phương pháp điều khiển nào của động cơ điện một chiều có thể dùng để điều chỉnh tốc độ ? Những phương pháp nào dùng để điều chỉnh momen và dòng điện ?

5. Hãy đánh giá các chỉ tiêu chất lượng của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều bằng cách thay đổi điện áp phần ứng.

6. Trình bày cách xác định điện trở các cấp khởi động nối vào mạch phần ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập.

7. Nêu ưu, nhược điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều bằng cách thay đổi từ thông kích thích.

8. Trình bày cách dựng họ đặc tính khởi động của động cơ không đồng bộ roto dây quấn khi dùng các cấp điện trở phụ nối vào mạch roto và cách xác định các cấp điện trở đó.

9. Trình bày nguyên lý điều chỉnh dòng điện và momen (khởi động) của động cơ không đồng bộ lồng sóc bằng phương pháp thay đổi điện áp stato và phương pháp dùng điện trở phụ mạch stato.

10. Phương pháp điều khiển động cơ không đồng bộ roto dây quấn bằng cách thay đổi điện áp stato có những ứng dụng nào ? Bộ điện trở cố định nối trong mạch roto có ý nghĩa gì ?

11. Đặc điểm làm việc của động cơ không đồng bộ khi được cung cấp điện áp và tần số định mức, và khi thay đổi tần số khác với định mức ? Từ thông của động cơ thay đổi như thế nào khi tần số nhỏ hơn định mức và khi tần số lớn hơn định mức ?

12. Có những luật (nguyên lý) điều khiển nào được áp dụng khi điều khiển tần số của động cơ không đồng bộ ? Mô tả nội dung cơ bản của các luật điều khiển đó.

13. Ưu, nhược điểm của phương pháp điều khiển tần số của động cơ không đồng bộ ? Vì sao nói phương pháp này của động cơ không đồng bộ có thể so sánh được với phương pháp điều khiển điện áp phần ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập ?

14. Người ta thường quan tâm đến những vấn đề điều khiển nào của động cơ đồng bộ ?

15. Có thể điều chỉnh tốc độ của động cơ đồng bộ bằng phương pháp nào ? Mô tả nguyên lý điều chỉnh và các luật điều khiển của nguyên lý.

16.Khi nào động cơ đồng bộ trở thành máy bù đồng bộ ?

17. Mô tả một quá trình khởi động hai giai đoạn của động cơ đồng bộ thông dụng.

18. Hãy trình bày nguyên lý làm việc của hệ " Bộ biến đổi - Động cơ một chiều " có điều chỉnh tốc độ tự động vòng kín khi dùng phản hồi âm tốc độ, phản hồi dương dòng điện, phản hồi hỗn hợp.

19. Hãy trình bày hoạt động của sơ đồ nguyên lý hệ "Bộ biến đổi - Động cơ một chiều" có phản hồi âm dòng điện có ngắt và cách tạo ra đặc tính máy xúc.

*Chương IV*

# CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH THÔNG DỤNG

Các hệ truyền động điện là hết sức đa dạng, từ loại đơn giản đến phức tạp, từ cỡ công suất nhỏ đến công suất lớn, với các loại động cơ khác nhau, các loại thiết bị biến đổi khác nhau và ứng dụng các nguyên lý điều khiển khác nhau. Trong thực tế ta có thể gặp bất kỳ loại nào. Tuy nhiên, ta chỉ cần nắm vững cách phân tích một số loại tiêu biểu, từ đó suy ra cho những trường hợp khác. Sau đây là một số hệ thống truyền động điện điều chỉnh thường dùng trong thực tế.

## 4.1. HỆ THỐNG MÁY PHÁT- ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU (HỆ F - Đ)

Trước khi có chỉnh lưu điều khiển công suất, hệ thống Máy phát - Động cơ một chiều (kích từ độc lập) được coi là hệ truyền động điều chỉnh tốt nhất. Nó tiêu biểu cho phương pháp điều khiển điện áp phần ứng và hệ "bộ biến đổi - động cơ một chiều". Tuy nhiên, vì bộ biến đổi trong hệ này được làm bằng các máy điện quay, tối thiểu là 2 máy, gồm động cơ không đồng bộ ĐS và máy phát điện một chiều F, với công suất mỗi máy lớn hơn công suất động cơ truyền động Đ, nên cồng kềnh, đắt, gây nhiều tiếng ồn và đòi hỏi nền móng chắc chắn. Vì vậy, ngày nay nó đã được thay thế bằng hệ "Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ", nhưng thực tế hệ F - Đ vẫn tồn tại trong một số máy sản xuất.

### 4.1.1. Sơ đồ nguyên lý

Sơ đồ nguyên lý của hệ vẽ trên hình 4-1. Tổ máy ĐS – F làm nhiệm vụ biến điện năng xoay chiều thành một chiều (qua khâu trung gian cơ khí là trục của động cơ ĐS), cấp cho phần ứng của động cơ một chiều kích từ độc lập Đ. Việc thay đổi điện áp trên phần ứng của động cơ Đ được thực hiện bằng cách điều khiển dòng kích từ $I_{KF}$ của máy phát F để làm biến đổi sđđ $E_F$. Cuộn kích từ của máy phát thường được nối vào một bộ nguồn điều chỉnh như chỉnh lưu

điều khiển, máy điện khuếch đại, hoặc đơn giản là nhờ một biến trở. Trên hình 4-1 ta dùng chỉnh lưu tiristo cầu 1 pha làm bộ nguồn kích từ cho máy phát. Điện áp điều khiển của chỉnh lưu này là $U_{dk}$ cũng sẽ chính là thông số điều khiển máy phát F và cũng là thông số đầu vào của hệ. Các thông số ω, M và $I_ư$ của động cơ được điều chỉnh tự động nhờ khâu phản hồi âm tốc độ (qua máy phát tốc FT và điện áp phản hồi $U_{p\omega}$) và khâu phản hồi âm dòng điện có ngắt (lấy tín hiệu trên cuộn dây cực từ phụ CFĐ của động cơ, tạo ra điện áp phản hồi $U_{pi.ng}$).

*Hình 4 - 1. Hệ Máy phát - Động cơ có kích từ nhờ chỉnh lưu tiristo*

## 4.1.2. Các chức năng chủ yếu của hệ

Hệ F - Đ tự động vòng kín (hình 4-1) có thể thực hiện các chức năng sau :

***a) Điều chỉnh tốc độ động cơ***

Thay đổi điện áp đặt $U_đ$, ta đạt được : $U_{dk}$ thay đổi ; góc mở của các tiristo trong mạch kích từ máy phát thay đổi, điện áp chỉnh lưu $U_d$ đặt lên cuộn dây kích từ máy phát thay đổi ($U_{KF} = U_d$ = var) ; sđđ máy phát thay đổi ($E_f$ var), điện áp phần ứng của động cơ thay đổi ; kết quả là tốc độ động cơ ω được điều chỉnh. Đối với các hệ F - Đ có điều chỉnh tự động vòng kín như sơ đồ hình 4-1, dải điều chỉnh tốc độ có thể đạt D>10:1 với sai số s% <10%.

***b) Hạn chế dòng điện và momen động cơ***

Nhờ khâu phản hồi âm dòng điện có ngắt hệ thống tạo được đặc tính máy xúc (mục 3-6), do đó dòng điện phần ứng và momen động cơ được hạn chế dưới giá trị cho phép trong các trường hợp khởi động, hãm, đảo chiều, quá tải lớn và ngắn mạch.

***c) Cưỡng bức các quá trình quá độ***

Nhiều quá trình quá độ được xảy ra với tín hiệu điều khiển $U_{dk}$ lớn, dẫn đến sđđ máy phát lớn, do đó rút ngắn thời gian quá độ. Ví dụ : khi khởi động, ban đầu ω = 0 nên điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega} = 0$, toàn bộ điện áp đặt $U_đ$

được đưa vào điều khiển bộ chỉnh lưu kích từ : $U_{dk} = U_đ$ = max. Điện áp kích từ máy phát sẽ là lớn nhất làm cho sđđ $E_f$ tăng trưởng rất nhanh. Sđđ đó đặt lên phần ứng động cơ làm cho động cơ được khởi động với điện áp nguồn lớn nhất. Khởi động như vậy được gọi là "khởi động cưỡng bức". Tất nhiên, trong quá trình đó nếu dòng điện $I_ư$ vượt quá giá trị "ngắt" quy định, thì khâu phản hồi âm dòng điện sẽ tác dụng, làm giảm $U_{dk}$ ($U_{dk} = U_đ - U_{pi.ng}$) và do đó làm giảm mức độ cưỡng bức. Khi động cơ quay, ω tăng lên, điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega}$ lớn dần, $U_{dk}$ giảm dần và hệ thống tiến dần đến trạng thái làm việc xác lập với tốc độ tương ứng với giá trị $U_đ$ đã cho.

***d) Đảo chiều quay động cơ***

Việc đảo chiều quay động cơ trong hệ F-Đ được thực hiện đơn giản bằng cách đảo chiều dòng kích từ máy phát, tức đảo cực tính điện áp kích từ $U_{KF}$ (trên hình 4-1 không vẽ các phần tử này trong mạch kích từ máy phát). Khi đó, sđđ $E_f$ sẽ đổi cực tính ; dòng điện, momen và tốc độ động cơ sẽ đổi chiều.



*Hình 4 - 2. Đặc tính cơ và sơ đồ thay thế của hệ F - Đ đảo chiều (bốn góc phần tư)*

Động cơ trong hệ F-Đ đảo chiều có khả năng làm việc trên cả 4 góc phần tư của mặt phẳng toạ độ [M, ω], nghĩa là có thể làm việc ở trạng thái động cơ khi quay thuận (ω >0 – góc phần tư thứ nhất) và khi quay ngược (ω < 0 – góc thứ ba), các trạng thái hãm (tái sinh, hãm ngược, hãm động năng ở cả hai chiều quay (góc 2 và góc 4). Các đặc tính cơ và sơ đồ thay thế mạch phần ứng

của hệ ở các trạng thái làm việc nêu trên được biểu thị trên hình 4-2. Chẳng hạn, nếu cho kích từ máy phát theo chiều thuận để có giá trị $E_{f1} > 0$ cấp cho động cơ, ta được đường đặc tính 1, động cơ làm việc ở trạng thái động cơ trong góc phần tư thứ nhất (hình 4-2). Khi ta giảm điện áp kích từ máy phát, giả sử ứng với mức giảm sđđ E máy phát xuống $E_{f3}$ thì động cơ sẽ chuyển sang làm việc trên đường đặc tính 3. Một phần quá trình chuyển dịch đó phải diễn ra trên góc phần tư thứ hai ở trạng thái hãm tái sinh. Lúc này $\omega > \omega_{03}$, tức $E > E_{f3}$, dòng $I_u$ đổi chiều và chảy theo chiều sđđ E của động cơ (ngược chiều $E_f$), động cơ biến thành máy phát điện, cấp năng lượng cho F, còn máy phát F lại biến thành động cơ, quay trục ĐS (xem hình 4-1) biến động cơ sơ cấp ĐS thành máy phát xoay chiều trả năng lượng về lưới điện.

Trên hình 4-2 còn biểu thị các trạng thái hãm ngược HN và hãm động năng ĐN. Trạng thái hãm động năng được thực hiện bằng cách cho kích từ máy phát $U_{KF} = 0$ (tức $I_{KF} = 0$), lúc này $E_f = 0$ và máy phát chỉ còn là điện trở $R_{uF}$, còn động cơ (đang quay) giống như được đóng vào điện trở hãm $R_h = R_{uF}$.

Trong hệ F- Đ việc chuyển đổi trạng thái làm việc giữa động cơ và máy phát, kèm theo sự trao đổi năng lượng giữa chúng (cũng chính là giữa phụ tải với lưới điện) là rất linh hoạt, mà không đòi hỏi những thiết bị phụ trợ hoặc những phương tiện điều khiển đặc biệt nào (Điều kiện mà ở các hệ thống sử dụng van bán dẫn khó thực hiện hơn). Đó là một ưu điểm của hệ này.

## 4.2. HỆ CHỈNH LƯU ĐIỀU KHIỂN - ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU( CL- Đ)

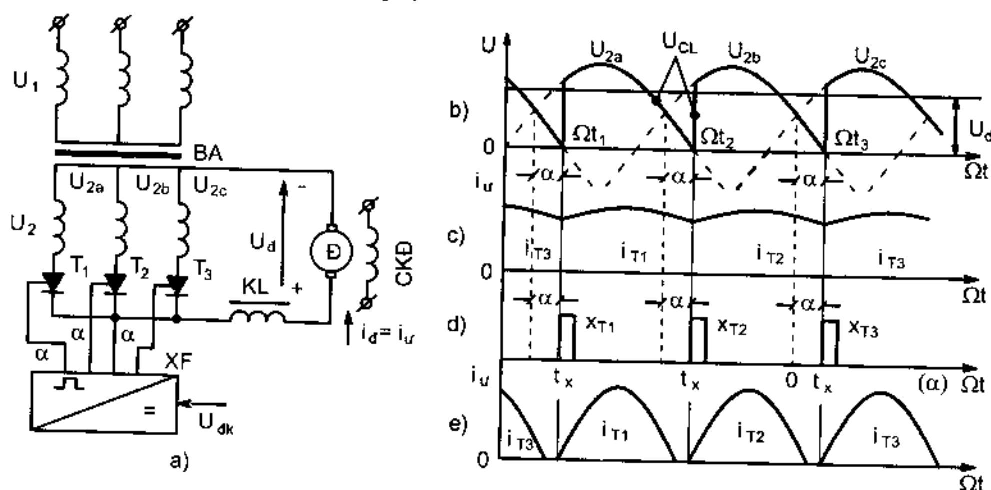
Hệ Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ một chiều (CL- Đ) thực hiện điều khiển động cơ theo nguyên lý thay đổi điện áp phần ứng. Ở đây, bộ biến đổi là chỉnh lưu bán dẫn, biến đổi trực tiếp điện năng xoay chiều thành một chiều không qua khâu trung gian nào, do đó nó có nhiều ưu điểm như kết cấu nhẹ, không đòi hỏi nền móng, không gây tiếng ồn, hiệu suất cao, hệ số khuếch đại công suất lớn, thuận tiện cho việc tự động hoá, độ tác động nhanh cao. Để dễ theo dõi, ta sẽ bắt đầu khảo sát từ hệ đơn giản không đảo chiều, hệ đảo chiều và cuối cùng là một ví dụ về hệ điều chỉnh tự động.

### 4.2.1. Hệ Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ không đảo chiều

***a) Sơ đồ nguyên lý***

Hình 4-3a đưa ra một sơ đồ nguyên lý đơn giản của hệ CL- Đ không đảo chiều, gồm bộ chỉnh lưu ba pha có các van tiristo $T_1$, $T_2$, $T_3$ nối hình tia, máy biến áp BA nối Y/Y và cuộn kháng lọc KL cấp điện cho phần ứng của động cơ

kích từ độc lập Đ. Bộ chỉnh lưu chỉ tạo ra điện áp một chiều $U_d$ có cực tính không đổi như trên hình vẽ, dòng điện phần ứng $I_ư$ cũng chỉ có thể chảy theo một chiều (thuận chiều van bán dẫn) nên hệ này được gọi là hệ không đảo chiều, hoặc hệ không thuận nghịch.




*Hình 4 - 3. Sơ đồ nguyên lý (a) và các đồ thị điện áp, dòng điện (b,c,e) và xung mở van (d) của hệ CL-Đ không đảo chiều*

Như ta đã biết, khi đặt điện áp nguồn xoay chiều vào biến áp, các điện áp pha thứ cấp $u_{2a}$, $u_{2b}$, $u_{2c}$ xoay chiều hình sin đặt lên anôt của các tiristo $T_1$, $T_2$, $T_3$. Nếu các tiristo này nhận được xung điện áp dương trên cực điều khiển vào lúc anot của chúng dương hơn catot thì chúng sẽ thông, và trên hai đầu phần ứng động cơ sẽ nhận được điện áp $u_{CL}$ – gọi là điện áp chỉnh lưu- có dạng nhấp nhô theo các đỉnh hình sin của điện áp thứ cấp máy biến áp, như đồ thị 4-3b. Điện áp dạng nhấp nhô $u_{CL}$ sẽ tạo ra dòng điện $i_ư$ trong phần ứng động cơ cũng có dạng nhấp nhô như đồ thị hình 4-3c. Như vậy điện áp chỉnh lưu có chứa thành phần một chiều $U_d$ và thành phần xoay chiều $U_{d\sim}$. Tuy nhiên, chỉ có thành phần một chiều $U_d$ tạo ra dòng điện thuần một chiều $I_d$ và momen động cơ. Ta sẽ khảo sát sự làm việc của động cơ dưới tác dụng của thành phần này.

Thành phần một chiều $U_d$ chính là giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu. Nếu dòng điện $i_ư$ là liên tục, thì $U_d$ có biểu thức :

$$U_d = U_{d0}\cos\alpha \qquad (4-1)$$

Trong đó :

α- Góc mở (thông) của tiristo, tính từ thời điểm chuyển mạch tự nhiên, tức thời điểm bằng nhau của điện áp thứ cấp máy biến áp ở hai pha liên tiếp (hình 4-3b). Tại thời điểm phát xung $t_x$ ta có :

$$\alpha = \Omega t_x \qquad (4\text{-}2)$$

Trong đó : $\Omega$ = 341 rad/s – tần số góc của điện áp lưới.

$U_{d0}$ - điện áp chỉnh lưu lớn nhất, ứng với khi $\alpha = 0$, nghĩa là khi tiristo thông như diot. Với số pha chỉnh lưu có $m \geq 2$ ta có :

$$U_{d0} = \frac{m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m}\sqrt{2}.\dot{U}_2 = K_u.U_2 \qquad (4\text{-}3)$$

Với :

$K_u$ – Hệ số phụ thuộc sơ đồ chỉnh lưu :

$$K_u = \frac{m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m}\sqrt{2} \qquad (4\text{-}4)$$

m – Số pha chỉnh lưu, nếu là sơ đồ cầu thì lấy m = 2 lần số pha.

*Ví dụ :* sơ đồ một pha hai nửa chu kỳ và sơ đồ cầu một pha : m = 2 thì $K_u$ = 0,9 ; tia 3 pha : $K_u$ = 1,17 ; cầu 3 pha : $K_u$ = 2,34.

Khi thay đổi điện áp điều khiển $U_{dk}$ trên đầu vào của khối tạo xung – dịch pha XF, thời điểm tạo xung $t_x$ sẽ thay đổi, góc mở van $\alpha$ thay đổi và do đó điện áp ra của chỉnh lưu đặt lên phần ứng động cơ $U_d$ thay đổi. Nhờ đó ta điều chỉnh được thông số đầu ra của động cơ.

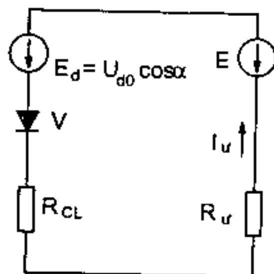
***b) Sơ đồ thay thế của hệ CL- Đ không đảo chiều***

Nếu biểu thị bộ chỉnh lưu bằng nguồn sđđ $E_d$, điện trở trong $R_{CL}$, van một chiều V, cùng với mạch của động cơ ta được sơ đồ thay thế của hệ như trên hình 4-4.

Sđđ $E_d$ chính là điện áp $U_d$ khi không xét đến sụt áp trên điện trở trong của chỉnh lưu, do đó nó được xác định theo (4-1). Mặt khác, nếu biết đặc tính của khối XF nghĩa là biết quan hệ $\alpha = f(U_{dk})$ thì có thể xác định $E_d$ theo $U_{dk}$ :

$$E_d = U_{d0}\cos\alpha = K_{CL}U_{dk} \qquad (4\text{-}5)$$

Trong đó : $K_{CL}$ – Hệ số khuếch đại điện áp của bộ chỉnh lưu. Nếu coi chỉnh lưu là tuyến tính thì : $K_{CL} = \frac{U_{d0}}{U_{dk\,max}} = \text{const}$ (4-6)




*Hình 4 - 4. Sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ không đảo chiều*

Điện trở $R_{CL}$ gồm các thành phần sau :

$$R_{CL} = R_{BA} + R_{KL} + R_{cm} \qquad (4\text{-}7)$$

Trong đó :

$R_{BA}$ : Điện trở của dây quấn máy biến áp, gồm điện trở cuộn thứ cấp $R_2$ và điện trở cuộn sơ cấp quy đổi về mạch thứ cấp $R_1'$ :

$$R_{BA} = R_2 + R_1' = R_2 + R_1 \frac{1}{K_{BA}^2} \qquad (4\text{-}8)$$

$R_{KL}$ : điện trở cuộn kháng lọc (thường rất nhỏ $R_{KL} \approx 0$)

$R_{cm}$ : điện trở đẳng trị xét đến phần sụt áp do hiện tượng chuyển mạch giữa các tiristo :

$$R_{cm} = \frac{m}{2\pi} X_{BA} \qquad (4\text{-}9)$$

Với $X_{BA}$- điện kháng của máy biến áp, cũng được xác định tương tự như (4-8) :

$$X_{BA} = X_2 + X_1' = X_2 + X_1 \frac{1}{K_{BA}^2} \qquad (4\text{-}10)$$

Cũng có thể xác định điện trở và điện kháng của máy biến áp theo các thông số catalo của máy :

$$R_{BA} = \frac{\Delta P_d\%}{100} \cdot \frac{U_{2dm}}{I_{2dm}} = \frac{\Delta P_d\%}{100} \cdot \frac{U_{1dm}}{K_{BA}^2 I_{1dm}} \qquad (4\text{-}11)$$

$$R_{BA} = \frac{U_{nm}\%}{100} \cdot \frac{U_{2dm}}{I_{2dm}} = \frac{U_{nm}\%}{100} \cdot \frac{U_{1dm}}{K_{BA}^2 I_{1dm}} \qquad (4\text{-}12)$$

Trong đó :

$U_{1dm}$, $I_{1dm}$, $U_{2dm}$, $I_{2dm}$ : Giá trị định mức của điện áp và dòng điện (pha) sơ cấp và thứ cấp của máy biến áp.

$K_{BA} = \frac{U_{1dm}}{E_{2dm}} \approx \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}}$ : Hệ số biến áp.

$\Delta P_d\%, U_{nm}\%$ : tổn thất đồng và điện áp ngắn mạch của máy biến áp (giá trị tương đối %). Chú ý rằng, sơ đồ thay thế trên đây dùng cho thành phần một chiều của điện áp và dòng điện.

***c) Đặc tính cơ của hệ ở trạng thái dòng điện liên tục***

Ta xét trường hợp dòng điện phần ứng chảy liên tục theo thời gian, như đã vẽ trên hình 4-3c. Đây là trạng thái làm việc chủ yếu của hệ CL-Đ, trong đó : dòng điện qua van này chưa tắt thì van kế tiếp đã mở. Biểu thức (4-1) cũng viết cho trường hợp này.

Từ sơ đồ thay thế, viết phương trình cân bằng điện áp và thay E = KΦω t. được :

$$\omega = \frac{E_d}{K\Phi} - \frac{R_{ut}}{K\Phi} I_u = \frac{E_d}{K\Phi} - \frac{R_{ut}}{(K\Phi)^2} M \qquad (4\text{-}13)$$

Trong đó : $R_{ut} = R_u + R_{CL}$- điện trở tổng của mạch phần ứng.

Thay $E_d$ từ (4-5) ta được phương trình đặc tính cơ của hệ :

$$\omega = \frac{U_{d_0}}{K\Phi} \cos\alpha - \frac{R_{ut}}{K\Phi} I_u = \frac{U_{d_0}}{K\Phi} \cos\alpha - \frac{R_{ut}}{(K\Phi)^2} M \qquad (4\text{-}14)$$

hoặc : $$\omega = \frac{K_{CL}}{K\Phi} U_{dk} - \frac{R_{ut}}{K\Phi} I_u = \frac{K_{CL}}{K\Phi} U_{dk} - \frac{R_{ut}}{(K\Phi)^2} M \qquad (4\text{-}15)$$

Vậy đặc tính cơ của động cơ trong hệ CL- Đ ở trạng thái dòng điện liên tục là những đường thẳng song song như trên hình 4-5.

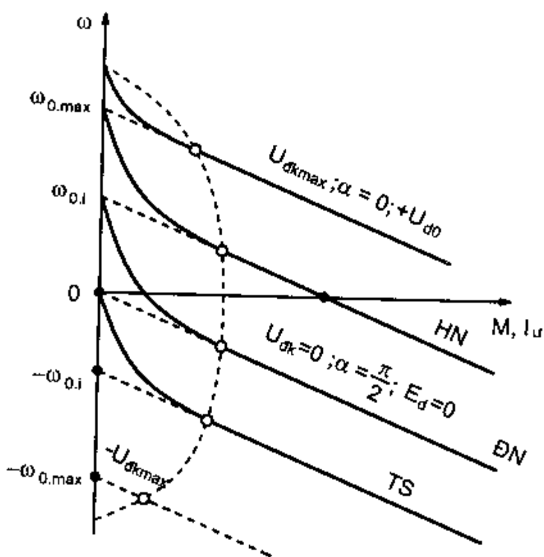
*Nhận xét :* Ta có thể nêu một số nhận xét về họ đặc tính này:

- Tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$ phụ thuộc góc mở α của tiristo, tức phụ thuộc điện áp điều khiển $U_{dk}$ :

$$\omega_0 = \frac{U_{d0}}{K\Phi} \cos\alpha = \frac{K_{CL}}{K\Phi} U_{dk} \qquad (4\text{-}16)$$

Khi cho tín hiệu điều khiển thay đổi từ $+U_{dk.max} \div 0 \div -U_{dk.max}$ thì góc α thay đổi tương ứng từ $0 \div \frac{\pi}{2} \div \pi$ ; sđđ $E_d$ thay đổi từ $+U_{d0} \div 0 \div -U_{d0}$, tốc độ không tải lý tưởng thay đổi từ $\omega_{0.max} \div 0 \div -\omega_{0.max}$. Ta được họ đặc tính bố trí trên góc phần tư thứ 1 và thứ 4.

*Chú ý :* Các đường đặc tính không kéo dài sang phía trái trục tung, vì các van không cho dòng điện chạy theo chiều ngược.




***Hình 4 - 5.*** *Đặc tính cơ của động cơ trong hệ CL - Đ không đảo chiều*

- Độ cứng đặc tính cơ không đổi và có giá trị không cao :

$$\beta_{CL-Đ} = \frac{(K\Phi)^2}{R_{ut}} = \frac{(K\Phi)^2}{R_{ut} + R_{CL}} = const \qquad (4\text{-}17)$$

Trong đó : $R_{CL}$ thường có giá trị lớn : $R_{CL} \approx 3R_{u}$ (4-18)

- Trong vùng phụ tải nhỏ, $M \to 0$ và $I_u \to 0$, dòng điện động cơ sẽ không duy trì được liên tục, mà sẽ có dạng xung đập mạch rời rạc vì dòng qua van này đã tắt mà chưa đến thời điểm mở van tiếp sau ; đồ thị dòng điện $i_u(t)$ có dạng trên hình 4-3e. Người ta gọi trạng thái làm việc này là "*trạng thái dòng điện gián đoạn*". Trong vùng này đặc tính cơ sẽ cong và rất dốc, được biểu thị bằng nét liền trong elip hình 4-5. Trong thiết kế người ta thường phải hạn chế đến mức có thể loại bỏ vùng dòng điện gián đoạn, đảm bảo cho động cơ ngay khi làm việc không tải với dòng $I_0 \approx 10\% I_{dm}$ ở đặc tính có góc mở lớn nhất $\alpha_{max}$ vẫn có dòng điện liên tục.

***d) Các trạng thái hãm, trạng thái hãm tái sinh của động cơ và trạng thái nghịch lưu của bộ chỉnh lưu***

Đối với hệ CL- Đ không đảo chiều, trạng thái làm việc chính của động cơ là "*trạng thái động cơ*", còn bộ chỉnh lưu là "*trạng thái chỉnh lưu*". Khi đó, chỉnh lưu cung cấp năng lượng cho động cơ, dòng điện $I_u$ chảy theo chiều của $E_d$ như trên hình 4-4, và tương ứng là các đặc tính cơ nằm trong góc phần tư thứ nhất (hình 4-5).

Nếu phụ tải của động cơ là momen thế năng (ví dụ tải máy nâng), thì khi hạ tải trọng, lực trọng trường của tải có thể kéo động cơ quay ngược ($\omega<0$) và có thể xuất hiện trạng thái hãm của động cơ : hãm ngược HN, hãm động năng ĐN hoặc hãm tái sinh TS như đã ghi trên các đoạn đặc tính cơ trong góc phần tư thứ 4, hình 4-5. Hãy quan sát sự so sánh đặc điểm của các trạng thái hãm cùng với trạng thái động cơ trong bảng 4-1.

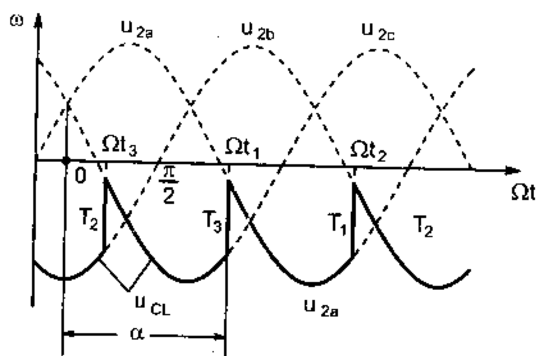
**Bảng 4-1**

| *Trạng thái làm việc* | *Chỉnh lưu* | | | *Động cơ* | | | $I_u$ | *Sơ đồ thay thế* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\alpha$ | $E_d$ | Tr.thái | $\omega$ | E | Tr.thái | | |
| Động cơ | $\alpha<\pi/2$ | $E_d>0$ | Ch.lưu | $\omega>0$ | E>0 | Động cơ | $(E_d - E)/R_{ut}$ | $R_{ut}$, $E_d$, E, $I_u$, $\omega$ |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Hãm ngược | $\alpha<\pi/2$ | $E_d>0$ | Ch.lưu | $\omega<0$ | E<0 | Hãm ngược | $(E_d + E)/R_{ưt}$ | $R_{ưt}$, $E_d$, E, $I_ư$, ω |
| Hãm • Động năng | $\alpha=\pi/2$ | $E_d=0$ | Vai trò điện trở | $\omega<0$ | E<0 | Hãm động năng | $E/R_{ưt}$ | $R_{ưt}$, E, $I_ư$, ω |
| Hãm Tái sinh | $\alpha>\pi/2$ | $E_d<0$ | Nghịch lưu | $\omega<0$ | E<0 | Hãm tái sinh | $(E - E_d)/R_{ưt}$ | $R_{ưt}$, $E_d$, E, $I_ư$, ω |

Sau đây ta khảo sát trạng thái nghịch lưu của bộ chỉnh lưu. Bảng 4-1 cũng như các đặc tính TS trên hình 4-5 đều cho thấy, ở trạng thái hãm tái sinh, sđđ E và $E_d$ đều đổi chiều so với trạng thái động cơ. Trong đó, E tác động cùng chiều dẫn của van và là nguồn tạo ra dòng $I_ư$, còn $E_d$ ngược chiều dẫn của van ($E_d<0$) chứng tỏ bộ chỉnh lưu chỉ thu năng lượng của động cơ, các van chỉnh lưu trong trường hợp này chỉ làm nhiệm vụ chia dòng điện một chiều $I_ư$ thành ra dòng chảy đều trong ba pha của thứ cấp máy biến áp, tiếp đó, máy biến áp sẽ biến đổi dòng thứ cấp thành dòng xoay chiều ở phía sơ cấp và trả về lưới điện.

Để có được $E_d<0$, ta phải cho góc mở van $\alpha > \pi/2$, tức $\cos\alpha <0$ và $E_d = U_{d0}\cos\alpha<0$. Trên hình 4-6 là đồ thị sđđ chỉnh lưu với góc $\alpha\approx160^0$ : tiristo $T_1$ mở tại thời điểm $\Omega t_1$, nghĩa là khi $u_{2a}<0$, các tiristo có thể thực hiện chuyển mạch được là nhờ điện áp thứ cấp của máy biến áp, nghĩa là nhờ điện áp lưới. Vì vậy bộ chỉnh lưu lúc này làm chức năng của *"Bộ nghịch lưu phụ thuộc lưới điện"*




***Hình 4 - 6.*** *Đồ thị điện áp (sđđ) của bộ chỉnh lưu ở trạng thái nghịch lưu*

***Ví dụ 4-1:*** Lập sơ đồ thay thế cho hệ CL-Đ và xác định phạm vi điều chỉnh góc mở van $\alpha_{min}$, $\alpha_{max}$ để điều chỉnh tốc độ động cơ trong dải D = 10:1. Số liệu cho trước : Động cơ 13,5kW ; 220V ; 1050vg/ph ; 73A ; $R_ư = 0{,}12\Omega$.

Chỉnh lưu tiristo cầu ba pha, có máy biến áp chuyên dùng 20kVA, nối Y/Y, $U_1$=380/220V ; $U_2$=220/127V ; điện trở ngắn mạch $R_{nm} = 0,15\Omega$ ; điện kháng ngắn mạch $X_{nm} = 0,87\Omega$ (khi ngắn mạch phía thứ cấp).

*Giải :* Sơ đồ nguyên lý của hệ CL-Đ theo đề bài sẽ như trên hình 4-7a.

- Điện áp chỉnh lưu lớn nhất :

$$U_{d0} = \frac{m}{\pi}\sin\frac{\pi}{m}\sqrt{2}.U_2 = \frac{6}{\pi}\sin\frac{\pi}{6}.\sqrt{2}.127 = 297V$$

- Vậy sđđ chỉnh lưu : $E_d = E_{d0}\cos\alpha = 297.\cos\alpha$.

- Điện trở của máy biến áp :

$$R_{BA} = R_2 + R_1' = \frac{R_{nm}}{K_{BA}^2} = \frac{0,15}{1,73^2} = 0,05\Omega$$

trong đó : $K_{BA} = \frac{U_{1f}}{U_{2f}} = \frac{220}{127} = 1,73$

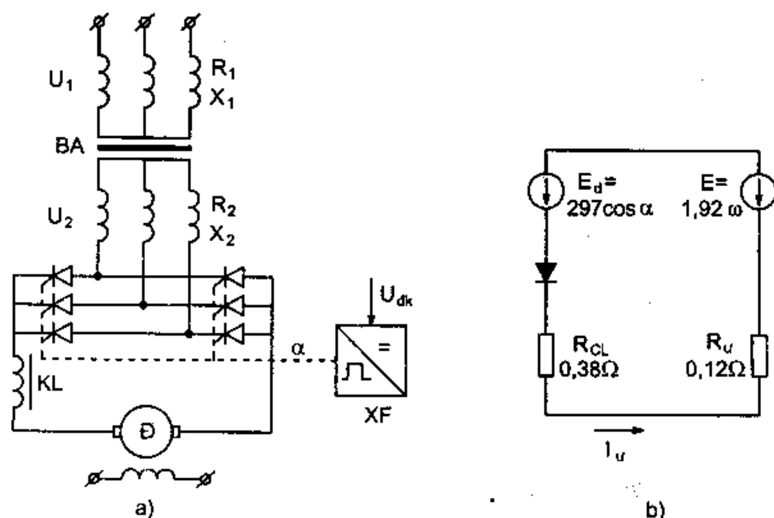
- Điện kháng của máy biến áp :

$$X_{BA} = X_2 + X_1' = \frac{X_{nm}}{K_{BA}^2} = \frac{0,87}{1,73^2} = 0,29\Omega$$

- Vậy điện trở trong của bộ chỉnh lưu (bỏ qua điện trở cuộn kháng và sụt áp trên tiristo) :

$$R_{CL} = R_{BA} + R_{cm} = R_{BA} + \frac{m}{2\pi}X_{BA} = 0,05 + \frac{6}{\pi}0,29 = 0,38\Omega$$

Theo đó ta được sơ đồ thay thế của hệ như hình 4-7b.




***Hình 4 - 7.** Sơ đồ nguyên lý và sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ trong ví dụ 4-1*

- Tốc độ lớn nhất trong dải điều chỉnh:

$$\omega_{max} = \omega_{dm} = \frac{n_{dm}}{9,55} = \frac{1050}{9,55} = 110rad/s$$

- Tốc độ nhỏ nhất trong dải điều chỉnh :

$$\omega_{min} = \frac{\omega_{max}}{D} = \frac{110}{10} = 11rad/s$$

- sđđ của bộ chỉnh lưu tương ứng với tốc độ $\omega_{max}$ là :

$$E_{d.max} = U_{d0}\cos\alpha_{min} = K\Phi_{dm}\omega_{max} + (R_{CL} + R_u).I_{dm} =$$
$$= 1,92.110+(0,38+0,12).73=247,7V$$

Trong đó : $K\Phi_{dm} = \frac{U_{dm} - I_{dm}R_u}{\omega_{dm}} = \frac{220 - 73.0,12}{110} = 1,92Wb$

*Vậy :* $\cos\alpha_{min} = \frac{E_{dmax}}{U_{d0}} = \frac{247,7}{297} = 0,834$ ; $\alpha_{min} = 33,5^0$

- Sức điện động của bộ chỉnh lưu tương ứng với tốc độ $\omega_{min}$ là :

$$E_{d.min} = U_{d0}\cos\alpha_{max} = K\Phi_{dm}\omega_{min} + (R_{CL} + R_u).I_{dm} =$$
$$= 1,92.11+(0,38+0,12).73 =56,7V$$

*Vậy :* $\cos\alpha_{max} = \frac{E_{dmin}}{U_{d0}} = \frac{57,6}{297} = 0,194$ ; $\alpha_{max} = 78,8^0$

### 4.2.2. Hệ Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ đảo chiều

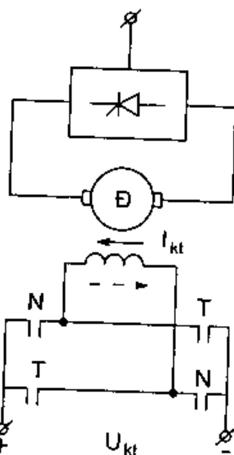
Để cho động cơ có thể làm việc được cả hai chiều quay ở trạng thái động cơ cũng như ở các trạng thái hãm với phụ tải bất kỳ (thế năng hoặc phản kháng), nghĩa là có thể làm việc được trong cả 4 góc phần tư của mặt phẳng [M, ω], ta phải sử dụng hệ CL-Đ đảo chiều. Vì trong mạch điện có các van bán dẫn, nên việc đảo chiều động cơ trong hệ này phức tạp hơn so với hệ máy phát- động cơ cả về mạch động lực lẫn nguyên lý điều khiển.

***a) Các phương pháp đảo chiều quay động cơ trong hệ CL-Đ***

Có 3 phương pháp thiết lập hệ CL- Đ đảo chiều : đảo chiều dòng kích từ động cơ ; đảo chiều dòng điện phần ứng bằng tiếp điểm công tắc tơ ; đảo chiều dòng điện phần ứng nhờ bộ chỉnh lưu thuận nghịch.

***- Phương pháp đảo chiều dòng kích từ động cơ :*** Ta dùng một bộ chỉnh lưu không thuận nghịch cấp cho phần ứng động cơ và đặt các tiếp điểm rơle –

công tắc tơ đảo chiều trong mạch kích từ. Cũng có thể sử dụng hai nhóm chỉnh lưu (thuận – nghịch) làm nguồn kích từ động cơ. Sơ đồ đơn giản của phương pháp này cho trên hình 4-8.

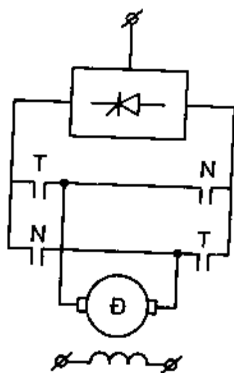



*Hình 4 - 8. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ đảo chiều dùng phương pháp đảo chiều dòng kích từ*

Phương pháp này đơn giản, thiết bị ít, nhưng vì mạch kích từ có hằng số thời gian lớn nên việc đóng, cắt, chuyển đổi chiều dòng kích từ xảy ra với thời gian quá độ lớn, ảnh hưởng đến năng suất máy sản xuất.

***- Phương pháp đảo chiều dòng điện phần ứng bằng tiếp điểm:*** Khi giữ chiều dòng kích từ không đổi, ta dùng một bộ chỉnh lưu không thuận nghịch, kết hợp với các tiếp điểm đảo chiều (T, N) của các công tắc tơ trong mạch phần ứng như sơ đồ hình 4-9, ta có một hệ CL - Đ đảo chiều tương đối đơn giản.

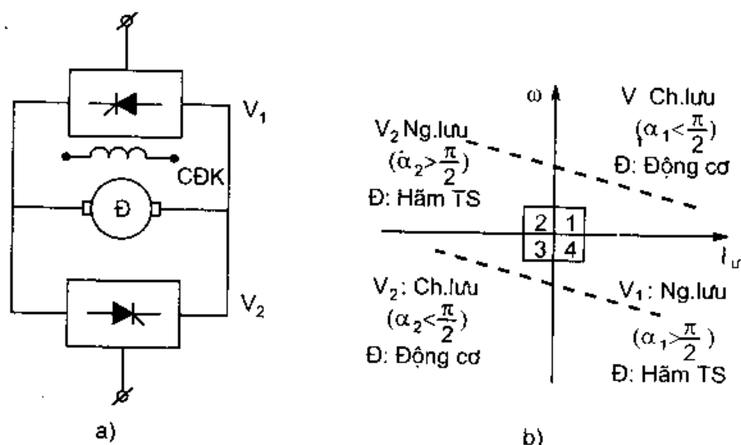
Tuy nhiên, việc sử dụng tiếp điểm trong mạch phần ứng là không tin cậy và tuổi thọ thiết bị kém. Người ta cũng có thể sử dụng biện pháp điều khiển để đảm bảo điều kiện đóng cắt tiếp điểm khi $I_ư \approx 0$, nhưng khi đó đòi hỏi trình tự tác động trong mạch theo một quy tắc nhất định, điều đó làm cho độ tác động nhanh của hệ kém đi.




*Hình 4 - 9. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ đảo chiều dùng bộ tiếp điểm thuận nghịch trong mạch phần ứng*

***- Phương pháp đảo chiều dòng điện phần ứng bằng bộ chỉnh lưu thuận nghịch :*** Người ta dùng bộ chỉnh lưu có hai nhóm van, tương đương với hai bộ chỉnh lưu không thuận nghịch đã xét ở phần trên, để cung cấp cho phần ứng động cơ ; mỗi nhóm đảm bảo cho dòng $I_ư$ chảy theo một chiều. Sơ đồ khối của hệ được giới thiệu trên hình 4-10a. Bằng cách phối hợp giữa trạng thái làm việc của động cơ (trạng thái động cơ hoặc các trạng thái hãm) và trạng thái làm việc của các nhóm $V_I$, $V_2$ (trạng thái chỉnh lưu hoặc nghịch lưu), hệ có khả năng làm việc trong cả 4 góc của mặt phẳng toạ độ. Có thể xác định dễ dàng sự phối hợp đó bằng cách dựa vào chiều dòng điện phần ứng. Giả dụ quy ước chiều $I_ư$ do nhóm $V_I$ cung cấp là dương ($I_{ư1}>0$) thì góc phần tư 1 và góc 4 đều do $V_1$ làm việc, còn góc 2 và góc 3 do $V_2$. Ví dụ : xét cho trạng thái động cơ và hãm tái sinh ở cả hai chiều quay của động cơ, ta được các quan hệ phối hợp như trên hình 4-10b. Đường nét đứt là đặc tính cơ của động cơ ở các trạng thái và chiều quay tương ứng.

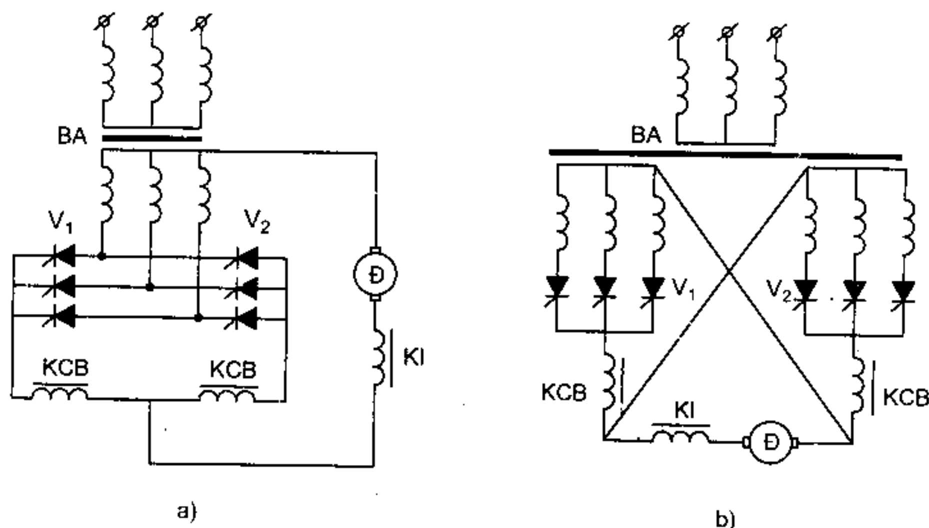
Ta cũng có thể suy ra cho các trường hợp động cơ hãm ngược và hãm động năng như đã trình bày ở hình 4-5 và bảng 4-1.




*Hình 4 - 10. Sơ đồ khối và các trạng thái làm việc cơ bản của hệ CL - Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch trong mạch phần ứng động cơ*

### b) Sơ đồ nguyên lý hệ CL- Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch

Sơ đồ khối hình 4-10 được cụ thể hoá bằng các sơ đồ nguyên lý. Thường gặp hai loại sơ đồ nối bộ chỉnh lưu thuận nghịch : sơ đồ song song - ngược (hình 4-11a) và sơ đồ hình chữ thập (hình 4-11b).




*Hình 4 - 11. Các sơ đồ nguyên lý hệ CL- Đ đảo chiều dùng bộ chỉnh lưu thuận nghịch*
*a) Sơ đồ tia ba pha song song-ngược ; b) Sơ đồ tia ba pha chữ thập*

Các sơ đồ song song - ngược có ưu điểm là sử dụng loại biến áp hai tổ dây quấn (một sơ cấp và một thứ cấp) và tận dụng hết khả năng công suất của các

tổ dây quấn đó. Các sơ đồ chữ thập đòi hỏi máy biến áp ba tổ dây quấn, trong đó ứng với mỗi chiều quay của động cơ chỉ sử dụng một tổ dây quấn thứ cấp, còn tổ thứ cấp kia dường như bỏ không. Vì vậy sơ đồ song song – ngược được dùng nhiều hơn.

***c) Các nguyên tắc điều khiển bộ chỉnh lưu thuận nghịch trong hệ CL- Đ đảo chiều***

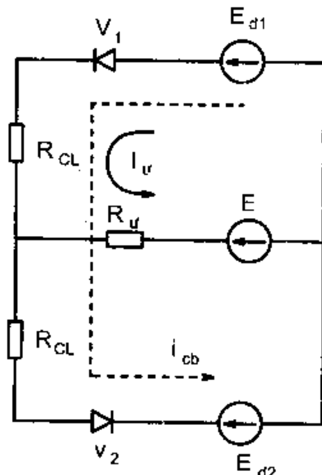
Để đảm bảo sự phối hợp làm việc giữa các nhóm van $V_1$, $V_2$ với động cơ như đã trình bày ở mục a, đòi hỏi phải điều khiển các nhóm van này theo những nguyên tắc nhất định. Có hai nguyên tắc điều khiển các nhóm van : điều khiển riêng và điều khiển chung.

- *Điều khiển riêng hai nhóm van* được thực hiện bằng cách : tại mỗi thời điểm ta chỉ cấp xung mở tiristo vào một nhóm, còn nhóm kia không có xung mở nên bị cắt khỏi động cơ. Nguyên tắc điều khiển này đảm bảo sự làm việc rành mạch, loại trừ hẳn dòng điện cân bằng ($I_{CB}$) chạy khép kín trong hai nhóm van (không qua động cơ). Tuy nhiên việc điều khiển phức tạp, vì phải lấy "tín hiệu không" của dòng điện các nhóm van để điều khiển "bộ logic", nhằm đảm bảo chắc chắn việc cấp xung mở cho nhóm van này khi dòng điện trong nhóm van kia đã hoàn toàn bằng không. Ngoài ra, trình tự điều khiển logic này cũng làm kéo dài thời gian quá trình chuyển đổi từ nhóm này sang nhóm khác.

- *Điều khiển chung* được thực hiện bằng cách đồng thời cấp xung mở van lên cả hai nhóm, nghĩa là cả hai nhóm van đều ở trạng thái thông. Tuy nhiên ta phải tính toán sao cho tại từng chế độ, chỉ có một nhóm có trao đổi năng lượng (thông dòng) với động cơ, còn nhóm kia chỉ ở "*trạng thái đợi*". Sơ đồ thay thế của hệ có điều khiển chung được trình bày trên hình 4-12.

Ưu điểm của nguyên tắc điều khiển chung hai nhóm van là đảm bảo cho hệ thống linh hoạt khi chuyển đổi chế độ, độ tác động nhanh cao, mạch điều khiển đơn giản. Tuy nhiên, do cả hai nhóm van này đều ở trạng thái thông, nên luôn luôn tồn tại dòng điện cân bằng ($i_{cb}$ trên hình 4-12) chảy "ký sinh" giữa hai nhóm van.

Vì vậy khi điều khiển chung, người ta phải nối vào hệ thống các cuộn kháng cân bằng KCB như trên hình 4-11 để hạn chế dòng $i_{cb}$ dưới mức cho phép.



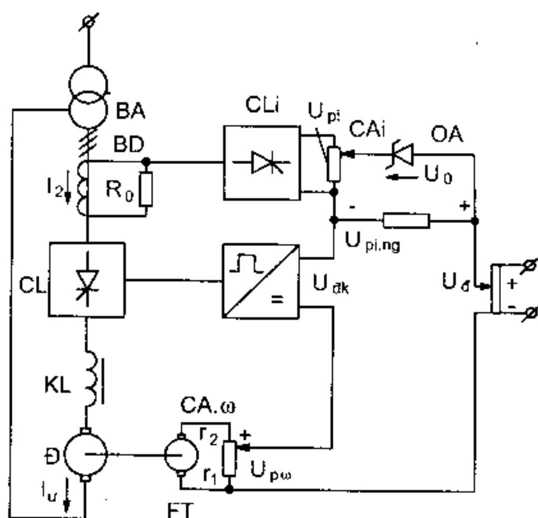

***Hình 4 - 12.*** *Sơ đồ thay thế của hệ CL - Đ đảo chiều khi điều khiển chung hai nhóm van*

### 4.2.3. Hệ Chỉnh lưu điều khiển - Động cơ tự động

Thực tế rất ít khi gặp hệ CL- Đ không tự động. Hệ CL- Đ tự động thường gặp hai loại : loại điều chỉnh tự động các toạ độ động cơ dùng bộ khuếch đại tổng và loại điều chỉnh độc lập các toạ độ kiểu nối tiếp.

***a) Ở các hệ dùng bộ khuếch đại tổng*** (hình 4-13a), tín hiệu đặt $U_đ$, tín hiệu phản hồi âm tốc độ $U_{p\omega}$ và tín hiệu phản hồi âm dòng điện có ngắt $U_{pi.ng}$ được tổng hợp thành $U_{dk}$ trên đầu vào của hệ nhờ một bộ cộng hoặc một bộ khuếch đại, hoặc có thể trực tiếp đưa vào khối tạo xung – dịch pha của bộ chỉnh lưu. Cấu trúc và nguyên lý làm việc của hệ tương tự như đã khảo sát ở chương III . Đặc tính cơ điều chỉnh của hệ có dạng đặc tính máy xúc.

Nguyên lý làm việc của hệ và dạng đặc tính cơ đã được trình bày trong chương III (mục 3-5).




*Hình 4 - 13a. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ tự động dùng bộ khuếch đại tổng*

***b) Hệ điều chỉnh độc lập các toạ độ kiểu nối tiếp*** được thực hiện bằng hai mạch vòng điều chỉnh : vòng điều chỉnh dòng điện và vòng điều chỉnh tốc độ với các bộ điều chỉnh $ĐC_i$ và ĐCω đặt nối tiếp và "độc lập tương đối" với nhau. Sơ đồ nguyên lý của hệ cho trên hình 4-13b.

Vòng dòng điện gồm tín hiệu đặt dòng $U_{d.i}$, bộ cảm biến $CB_i$ lấy tín hiệu phản hồi âm dòng điện $U_{pi} = K_{pi}.I_ư$ và bộ điều chỉnh dòng ĐCi. Tín hiệu ra của ĐCi là $U_{dk}$ đưa vào bộ tạo xung- dịch pha của chỉnh lưu. Chức năng của vòng này là duy trì dòng điện động cơ không đổi theo giá trị đặt $U_{di}$, vì vậy người ta sử dụng bộ ĐCi dạng tỷ lệ - tích phân (PI). Chú ý rằng, điện áp đặt $U_{di}$ của vòng dòng điện chính là điện áp ra $U_{r\omega}$ của bộ điều chỉnh tốc độ ĐCω. Bằng cách tạo cho ĐCω một đặc tính hạn chế kiểu bão hoà như trên hình 4-14, ta sẽ có $U_{di.max} = U_{r.\omega.max}$ = const trong các quá trình quá độ, tương ứng với $I_{dimax} = I_{CP}$ = const.

Vòng tốc độ bao gồm tín hiệu đặt tốc độ $U_{đ.\omega}$, bộ cảm biến CBω lấy tín hiệu phản hồi âm tốc độ $U_{p\omega} = K_{p\omega}.\omega$ và bộ điều chỉnh tốc độ ĐCω. Như đã

nêu trên, bộ ĐCω có đặc tính kiểu khuếch đại bão hoà (hình 4-14) ; điện áp đầu ra của nó $U_{r\omega}$ được lấy làm tín hiệu đặt cho vòng dòng điện ($U_{di} = U_{r.\omega}$).

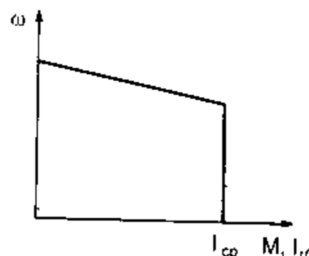
*Hình 4 - 13b. Sơ đồ nguyên lý hệ CL - Đ tự động có điều chỉnh độc lập các toạ độ kiểu nối tiếp*

Sau đây ta xét một quá trình khởi động của hệ thống làm ví dụ. Giả sử ta đặt vào hệ tín hiệu đặt tốc độ $U_{d\omega 1}$, động cơ sẽ được khởi động nhưng ban đầu tốc độ $\omega = 0$ nên điện áp phản hồi $U_{p\omega} = 0$, tín hiệu sai lệch ở đầu vào của bộ điều chỉnh tốc độ ĐCω sẽ là lớn nhất : $U_{\Delta\omega} = U_{d\omega 1} = max$ . Điểm làm việc đầu tiên của ĐCω là điểm A trên đặc tính điều chỉnh (hình 4-14), tương ứng, tín hiệu ra của ĐCω (và cũng là tín hiệu đặt dòng điện) sẽ là cực đại : $U_{r\omega} = U_{di} = U_{di.max}$.

*Hình 4 - 14. Đặc tính của bộ điều chỉnh tốc độ ĐCω*

Người ta chọn $U_{di.max} = K_{pi}.I_{cp}$ nên dòng điện khởi động $I_{kd}$ của động cơ được hạn chế tối đa ở giá trị này : $I_{u.max} = I_{kd} = I_{cp}$. Sau đó, tốc độ tăng lên, $U_{p\omega}$ tăng lên, $U_{\Delta\omega} = U_{d\omega 1} - U_{p\omega}$ sẽ giảm dần và điểm làm việc chạy từ A sang B, nhưng trong quá trình đó điện áp đầu ra của bộ điều chỉnh tốc độ $U_{r\omega}$ vẫn là giá trị bão hoà không đổi, nghĩa là vẫn duy trì $U_{di.max}$ trên vòng điều chỉnh dòng điện và dòng điện động cơ vẫn được giữ $I_u = I_{cp} = const$. Gần cuối quá

trình tăng tốc, tốc độ đủ lớn, tương ứng với điện áp phản hồi tốc độ $U_{p\omega.B}$ = AB (hình 4-14), điểm làm việc ra khỏi vùng bão hoà, $U_{di}$ bắt đầu giảm xuống và dòng điện động cơ giảm dần cho đến khi làm việc xác lập. Như vậy trong đoạn khởi động, đặc tính cơ (hoặc cơ điện) là đường thẳng đứng: $I_ư = I_{cp}$ =const ; còn trong vùng công tác, đặc tính cơ có độ cứng phụ thuộc các hệ số phản hồi tốc độ và dòng điện ($K_{p\omega}$ và $K_{pi}$). Ta có dạng đặc tính cơ như vẽ trên hình 4-15.



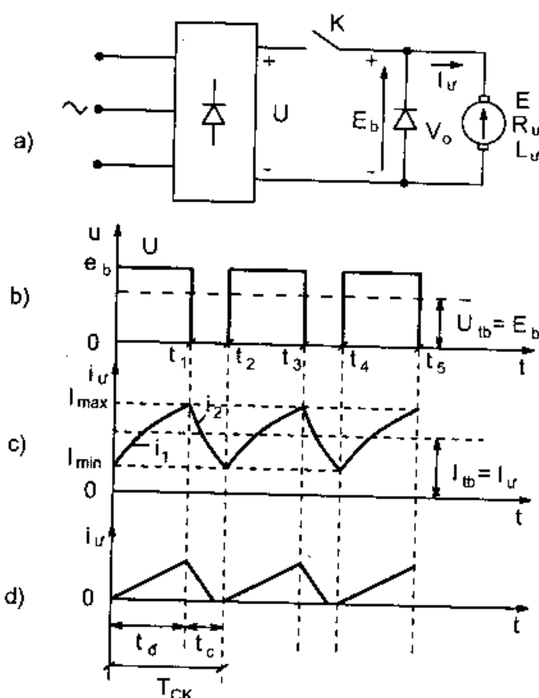

*Hình 4 - 15. Dạng đặc tính của hệ điều chỉnh độc lập các toạ độ kiểu nối tiếp*

# 4.3. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ MỘT CHIỀU BẰNG BỘ BĂM ÁP (HỆ ĐIỀU CHỈNH XUNG ĐIỆN ÁP - ĐỘNG CƠ ĐAX - Đ)

## 4.3.1. Nguyên lý làm việc của hệ ĐAX-Đ

Đối với các động cơ một chiều kích từ độc lập công suất nhỏ (cỡ dưới vài kW) người ta có thể sử dụng bộ băm áp để tạo ra dãy xung điện áp một chiều cung cấp cho phần ứng động cơ. Khi thay đổi độ rộng các xung đó, giá trị trung bình của điện áp thay đổi, nhờ đó điều chỉnh được dòng điện, momen và tốc độ động cơ.

Sơ đồ nguyên lý đơn giản của hệ ĐAX-Đ được vẽ trên hình 4-16a. Phần chủ yếu của nó là một bộ nguồn một chiều U, khoá điều khiển K, động cơ Đ và van diot đệm $V_0$. Giả sử chu kỳ đóng cắt của khoá K là $T_{CK}$, gồm khoảng đóng $t_đ$ và khoảng cắt $t_c$, thì điện áp đặt vào động cơ sẽ có dạng xung như trên hình 4-16b.




*Hình 4 - 16. a) Sơ đồ nguyên lý hệ ĐAX - Đ; b) Đồ thị điện áp ; c,d) Đồ thị dòng điện phần ứng*

Khi K đóng, $U_ư = U$, dòng điện chạy từ nguồn vào cuộn dây phần ứng tăng dần theo hàm số mũ ($i_1$) ; khi K ngắt, động cơ được cắt ra khỏi nguồn U và đóng kín mạch qua diot $V_0$, dòng điện được duy trì nhờ năng lượng tích luỹ trong điện cảm của mạch phần ứng, và nó sẽ giảm dần cũng theo hàm số mũ ($i_2$). Nếu điện cảm của mạch đủ lớn, dòng điện sẽ được duy trì cho đến chu kỳ sau, ta được dạng dòng điện hình răng cưa i = f(t) liên tục như trên hình 4-16c. Người ta gọi đây là chế độ dòng điện liên tục.

Vì dòng điện biến thiên theo thời gian, nên momen và tốc độ động cơ cũng đều biến thiên theo thời gian và hệ thống không có trạng thái xác lập tĩnh.

Ở chế độ dòng điện liên tục, các đại lượng trong hệ được tính toán theo giá trị trung bình :

Điện áp hoặc sđđ trung bình của bộ nguồn băm xung :

$$E_b = U_{tb} = U\frac{t_d}{T_{CK}} = \gamma U \qquad (4\text{-}19)$$

Trong đó, độ rộng xung : $\gamma = \frac{t_d}{T_{CK}} = t_d . f_x$ (4-20)

Với $f_x = \frac{1}{T_{CK}}$ [Hz] – tần số xung điện áp đặt lên động cơ.

- Dòng điện phần ứng trung bình sẽ là :

$$I_ư = I_{tb} = \frac{E_b - E}{R_ư} = \frac{\gamma U - K\Phi\omega}{R_ư} \qquad (4\text{-}21)$$

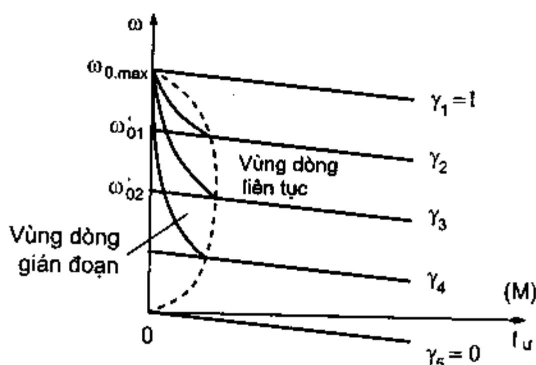
Phương trình đặc tính cơ và đặc tính cơ điện cũng tương tự như ở các hệ CL - Đ, và F-Đ đã xét :

$$\omega = \frac{\gamma U}{K\Phi} - \frac{R_ư}{K\Phi} I_ư = \frac{\gamma U}{K\Phi} - \frac{R_ư}{(K\Phi)^2} M = \omega_0 - \frac{M}{\beta_b} \qquad (4\text{-}22)$$

Đặc tính cơ theo phương trình (4-22) là những đường thẳng song song như trên hình 4-17, trong đó tốc độ không tải lý tưởng phụ thuộc độ rộng xung γ :

$$\omega_0 = \frac{\gamma U}{K\Phi} \qquad (4\text{-}23)$$

Khi cho γ thay đổi, ta sẽ có những đường đặc tính nhân tạo tương ứng với các giá trị tốc độ




*Hình 4 - 17. Đặc tính cơ của hệ ĐAX - Đ*

khác nhau, hoặc những momen (dòng điện) khởi động khác nhau.

Chú ý rằng, phương trình (4-22) và các đặc tính cơ là những đường thẳng chỉ đúng với chế độ dòng điện liên tục. Cũng như ở hệ CL - Đ, ở hệ này khi dòng điện phần ứng nhỏ ($I_ư \to 0$), nghĩa là khi phụ tải $M_C \to 0$ thì cũng xuất hiện chế độ dòng điện gián đoạn. Dạng đồ thị của dòng điện gián đoạn được vẽ trên hình 4-16d còn đặc tính cơ của động cơ ở chế độ này sẽ là đường cong như đã vẽ ở vùng sát trục tung của đồ thị hình 4-17. Giá trị tốc độ không tải lý tưởng tính theo (4-23) chỉ là giả tưởng, còn thực chất tất cả các đường đặc tính đều có chung một tốc độ không tải lý tưởng là $\omega_{0.c}$ (xem hình 4-17).

$$\omega_{0.c} = \omega_{0max} = \frac{U}{K\Phi} \qquad (4\text{-}24)$$

### 4.3.2. Phương pháp điều khiển hệ ĐAX-Đ

Như đã phân tích ở trên, để điều chỉnh các thông số đầu ra của động cơ, ta cần thay đổi giá trị trung bình của điện áp hoặc sđđ của bộ băm xung, tức phải thay đổi độ rộng xung điện áp $\gamma$. Từ biểu thức (4-20) ta thấy có 3 phương pháp điều khiển :

- Điều khiển bằng cách thay đổi thời gian đóng khoá $t_đ$ và giữ $T_{CK}$ ($f_x$) không đổi (phương pháp điều rộng). Đây là phương pháp đơn giản và hay dùng nhất.

- Điều khiển bằng cách thay đổi thời gian chu kỳ xung (phương pháp điều tần) : $f_x$ = var và giữ $t_đ$ = const.

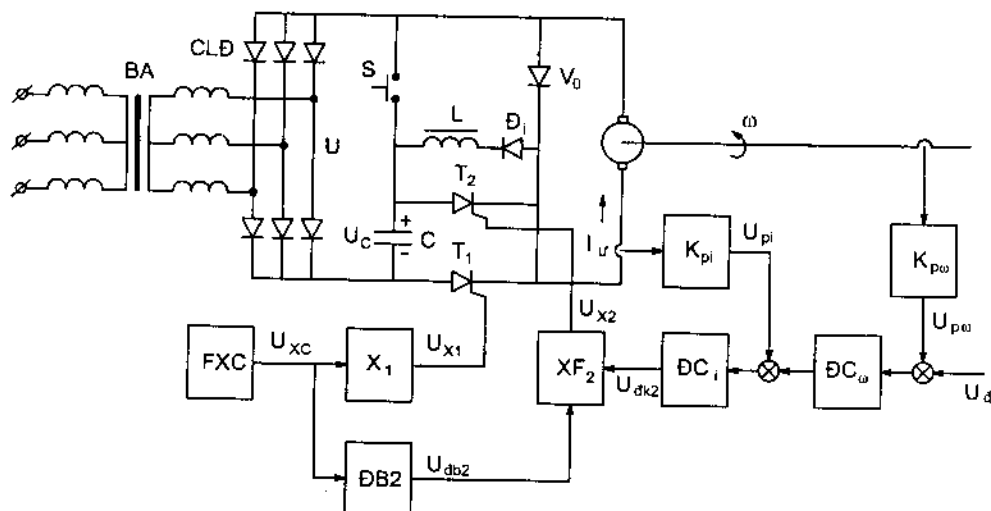
- Phương pháp hỗn hợp : Vừa thay đổi tần số xung, vừa thay đổi khoảng đóng của khoá $t_đ$.

Để thực hiện các phương pháp điều khiển trên, ta phải sử dụng các loại "khoá điều khiển" không tiếp điểm, có độ tác động nhanh cao và đóng cắt bằng tín hiệu điện. Đó là các loại van điện tử công suất như transisto lực hoặc tiristo. Tần số xung điện $f_x$ phụ thuộc vào độ tác động nhanh của các van này, nếu sử dụng tiristo người ta thường chọn $f_x$ = 500Hz.

### 4.3.3. Sơ đồ của hệ ĐAX-Đ đơn giản dùng khoá tiristo

Hình 4-18 giới thiệu một sơ đồ đơn giản của hệ ĐAX-Đ có khoá đóng cắt bằng tiristo. Ở mạch động lực, bộ nguồn một chiều là bộ chỉnh lưu cầu diot ba pha, tạo ra điện áp U tương đối bằng phẳng, giúp cho việc duy trì chế độ dòng điện liên tục được dễ dàng. Khoá K trong sơ đồ hình 4-16a được thay bằng tiristo $T_1$, nó được đóng bằng xung mở $U_{x1}$ vào đầu mỗi chu kỳ của xung điện áp, tương tự như đóng khoá K trên hình 4-16b tại các thời điểm 0, $t_2$, $t_4$, ...

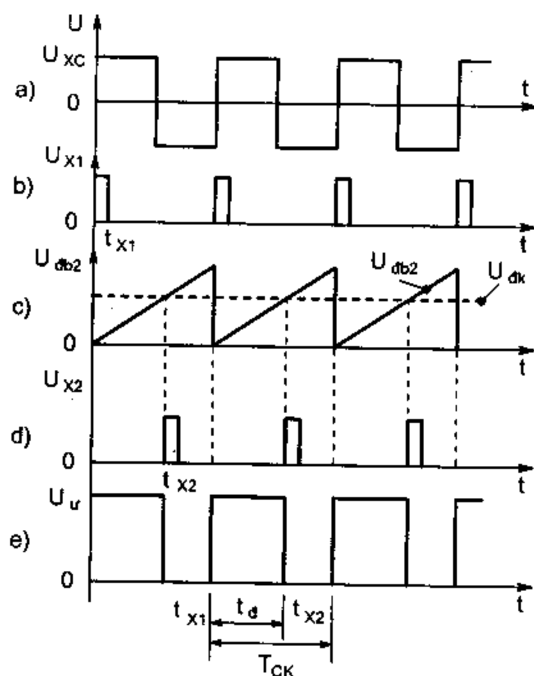
Để ngắt $T_1$, ta cho xung mở $T_2$ để đưa điện áp ngược lấy trên tụ C (có cực tính ghi trên hình vẽ) đặt lên $T_1$. Điện áp $U_C$ phải đủ lớn và được duy trì trong một khoảng thời gian an toàn để khoá $T_1$. Như vậy, thời điểm đặt xung mở $T_2$ chính là thời điểm cắt khoá $T_1$, tương ứng với các thời điểm $t_1$, $t_3$, $t_5$... trên hình 4-16b.




*Hình 4 - 18. Sơ đồ nguyên lý hệ ĐAX - D có khoá tiristo và điều chỉnh độ rộng xung*

Nếu ta giữ cố định dãy xung mở $T_1$ (dãy $U_{x1}$) và cho xê dịch dãy xung mở $T_2$ (dãy $U_{x2}$) thì sẽ thay đổi được khoảng $t_d$, tức thay đổi độ rộng xung điện áp $\gamma$ khi tần số $f_x$ = const. Muốn vậy, trên sơ đồ hình 4-18 người ta đặt bộ FXC phát xung chuẩn $U_{XC}$ với tần số xung điện áp mong muốn $f_x$ (thường bằng khoảng 200 ÷ 500 Hz), từ đó qua bộ sửa xung $X_1$ để tạo ra dãy xung $U_{X1}$ cho $T_1$ như trên hình 4-19a và b.

Đồng thời, cũng từ dãy xung chuẩn $U_{XC}$ này, qua khâu tạo điện áp đồng bộ cho $T_2$ (ĐB2), ta được dãy xung răng cưa $U_{db2}$ (hình 4-19c). Một khâu so sánh




*Hình 4 - 19. a,b,c,d) Dạng xung điện áp trên đầu ra của các khâu trong mạch điều khiển ; e) Dạng điện áp đặt lên phần ứng động cơ*

đặt trong bộ tạo xung – dịch pha XF2 sẽ so sánh tín hiệu đồng bộ $U_{db2}$ với điện áp điều khiển $U_{dk2}$ để xác định thời điểm tạo xung mở $T_2$ như biểu thị trên hình 4-19c và d.

Như vậy, tiristo $T_1$ sẽ được mở tại thời điểm $t_{x1}$ và ngắt tại $t_{x2}$, và kết quả ta được dãy xung điện áp đặt lên động cơ như trên hình 4-19e.

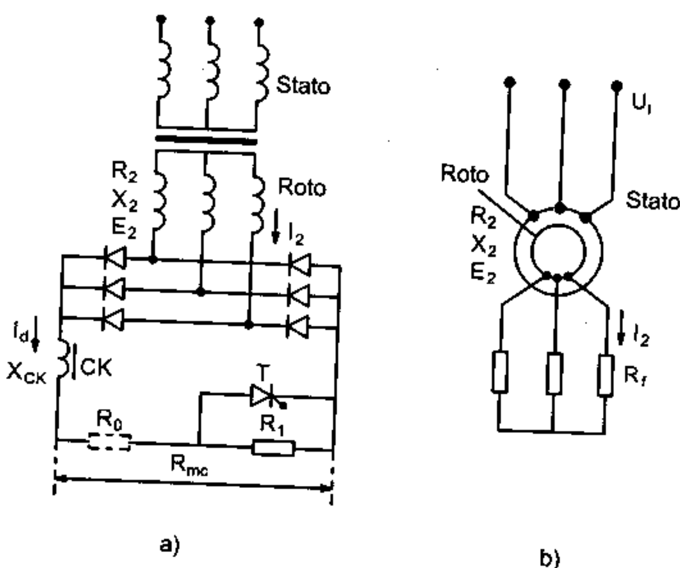
Khi thay đổi $U_{dk}$, ta sẽ xê dịch được dãy xung $U_{x2}$, do đó điều chỉnh được độ rộng $\gamma$. Trên sơ đồ cho thấy điện áp điều khiển được tổng hợp từ tín hiệu đặt $U_d$ và hai vòng điều chỉnh : vòng dòng điện qua bộ $ĐC_i$ và vòng tốc độ qua bộ $ĐC_\omega$.

## 4.4. ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG ĐIỆN TRỞ XUNG TRONG MẠCH RÔTO

### 4.4.1. Sơ đồ nguyên lý

Đối với các động cơ không đồng bộ roto dây quấn làm việc ở chế độ ngắn hạn lặp lại, phương pháp điều khiển biến trở với điện trở phụ kiểu điện trở xung đã được ứng dụng rộng rãi. Sơ đồ nguyên lý đơn giản cho trên hình 4-20a. Đây là một sơ đồ ứng dụng của phương pháp điều khiển bằng điện trở phụ roto mà sơ đồ nguyên thuỷ của nó được vẽ trên hình 4-20b và đã được khảo sát trong chương III (mục 3.4).

Ở đây, dòng điện ba pha roto $I_2$ được chỉnh lưu bởi cầu diot thành dòng một chiều $I_d$ chảy qua điện trở $R_{mc}$, điện trở này đóng vai trò điện trở phụ $R_f$ trong sơ đồ 4-20b. Mỗi giá trị của $R_{mc}$ tương tự như một giá trị của $R_f$ sẽ cho ta một đường đặc tính nhân tạo. Người ta đã chứng minh được rằng, để có được đường đặc tính như nhau thì giá




*Hình 4 - 20. a) Sơ đồ nguyên lý hệ điều khiển điện trở xung động cơ không đồng bộ roto dây quấn ; b) Sơ đồ đẳng trị nguyên thuỷ*

trị $R_{mc}$ ở sơ đồ 4-20a và $R_f$ ở sơ đồ hình 4-20b có quan hệ :

$$R_{mc} = 2R_f \qquad (4\text{-}25)$$

Nếu cho trước yêu cầu về chế độ công nghệ của máy sản xuất, ta có thể xác định đặc tính cơ công tác, nghĩa là biết trước được độ trượt tới hạn nhân tạo $S_{th.nt}$ của đặc tính này, từ đó chúng ta có thể xác định được giá trị điện trở một chiều cần cho vào mạch.

***Cách tính như sau :*** Trước hết từ độ trượt tới hạn tự nhiên $S_{th}$ và độ trượt tới hạn nhân tạo $S_{th.nt}$ theo biểu thức (3-43) ta có :

$$S_{th} = \frac{R_2'}{X_{nm}} \text{ và } S_{th.nt} = \frac{R_{2t}'}{X_{nm}} = \frac{R_2' + R_f'}{X_{nm}}$$

So sánh 2 biểu thức này ta rút ra biểu thức xác định $R_f$ :

$$R_f = R_2\left(\frac{S_{th.nt}}{S_{th}} - 1\right) \qquad (4\text{-}26)$$

Trong đó :

$R_2$ - Điện trở cuộn dây roto của động cơ ;

$S_{th}$- Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên.

Sau đó, theo (4-25) ta có :

$$R_{mc} = 2R_f = 2R_2\left(\frac{S_{th.nt}}{S_{th}} - 1\right) \qquad (4\text{-}27)$$

Việc điều chỉnh tốc độ và momen trong hệ được thực hiện bằng cách liên tục thay đổi trạng thái đóng- cắt của tiristo T, tạo ra một dạng điện trở $R_{mc}$ kiểu xung. Giá trị trung bình của điện trở phụ thuộc độ rỗng xung, tức phụ thuộc vào khoảng thời gian đóng tiristo T so với chu kỳ đóng cắt :

$$R_{mc.tb} = R_1(1-\gamma) \qquad (4\text{-}28)$$

Trong đó :

Độ rỗng xung điện trở $\gamma = \frac{t_d}{T_{CK}}$ ; (4-29)

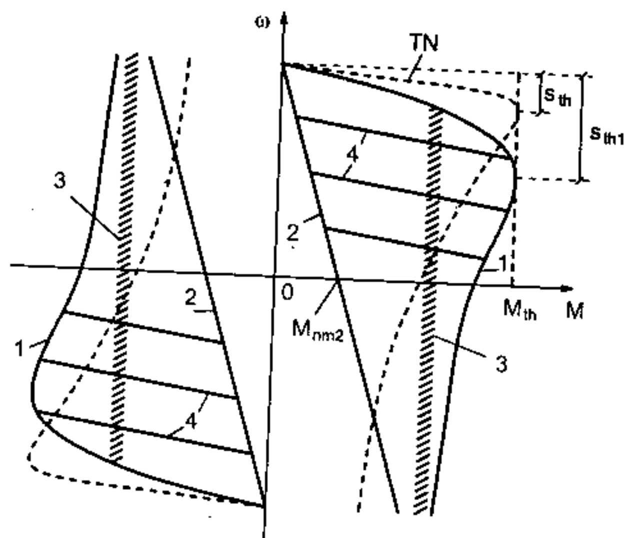
$T_{CK}$-thời gian của một chu kỳ đóng cắt ;

$t_d$-thời gian khoảng đóng tirito T.

Như vậy, để thay đổi điện trở phụ $R_{mc}$, người ta điều khiển tiristo T để thay đổi $\gamma$, tương tự như việc điều khiển các xung điện áp ở mục 4.3.

## 4.4.2. Các đặc tính giới hạn và diễn biến của các quá trình quá độ

Để mở rộng phạm vi điều chỉnh (cả momen và tốc độ) người ta thường tạo ra hai đường đặc tính giới hạn : đường 1 – giới hạn ngoài và đường 2 – giới hạn trong như trên hình 4-20c.




*Hình 4 - 20c. Các đặc tính cơ điều chỉnh của hệ điều khiển điện trở xung động cơ không đồng bộ roto dây quấn*

- Đường giới hạn ngoài nhằm mục đích hạ thấp đường đặc tính cơ tự nhiên, thành đặc tính nhân tạo có độ trượt tới hạn $s_{th1}$ đủ lớn, nhờ đó đảm bảo cho vùng tốc độ thấp có khả năng điều chỉnh momen rộng, nhất là trong vùng hãm ngược, điều mà đặc tính tự nhiên không có được (xem đường nét đứt – momen nhỏ). Để có được đặc tính này, ta nối cố định một điện trở $R_0$ như trên hình 4-20a. Giá trị $R_0$ thường được chọn là :

$$R_0 \approx (0,15 \div 0,2)R_{dm} \qquad (4\text{-}30)$$

Trong đó : $R_{dm}$ - điện trở định mức của động cơ ($R_{dm} = \dfrac{E_{2nm}}{\sqrt{3}I_{2dm}}$)

Như vậy, độ trượt tới hạn của đặc tính giới hạn ngoài xác định theo (4-27) sẽ là:

$$S_{th1} \approx S_{th}\left(\frac{R_0}{2R_2} + 1\right) \qquad (4\text{-}31)$$

- Đường giới hạn trong tương ứng với trường hợp tiristo T luôn luôn ở trạng thái cắt, nghĩa là điện trở mạch một chiều lớn nhất: $R_{mc.max} = R_0 + R_1$.

Điện trở này thường được chọn theo điều kiện hạn chế dòng điện mạch roto dưới giá trị cực đại cho phép $I_{2cp}$ :

$$R_{mc.max} = \frac{U_{d.max}}{I_{d.cp}} \qquad (4\text{-}32)$$

Do đó : $$R_1 = R_{mc.max} - R_0 \quad (4\text{-}33)$$

Trong đó :

$I'_{d.cp} \approx 1{,}226 I_{2.cp}$- Dòng điện cho phép trong mạch một chiều (chỉnh lưu cầu).

$U_{d.max}$- Điện áp chỉnh lưu lớn nhất ứng với khi động cơ ngắn mạch.

- Một quá trình quá độ, ví dụ khởi động, đảo chiều, sẽ diễn ra theo đường dích dắc qua lại giữa hai đặc tính giới hạn nêu trên: Khi tiristo T mở (thông) điểm làm việc có xu hướng chạy về đường 1; Khi T khoá (ngắt), điểm làm việc sẽ chạy về phía đường 2. Tuy nhiên, nhờ điện cảm của mạch điện đủ lớn ($X_2$ và $X_{CK}$) nên dòng roto không thể đột biến, do đó động cơ sẽ tăng tốc theo đường gợn sóng (đường 3 hình 4-20c). Bằng cách điều khiển tiristo, ta có thể thay đổi thời gian $t_d$, độ rộng $\gamma$ của xung điện trở và nhờ đó sẽ xê dịch được đường gợn sóng 3 dọc theo trục hoành, nghĩa là ta có thể điều chỉnh được momen và gia tốc trong các quá trình quá độ.

### 4.4.3. Hệ điều khiển điện trở xung tự động

Cũng tương tự như ở hệ ĐAX-Đ, khoá đóng cắt trên điện trở $R_1$ cũng được làm bằng các tiristo và các linh kiện phụ trợ. Các phương pháp điều khiển độ rộng xung $\gamma$ và việc tổng hợp tín hiệu điều khiển theo điện áp phản hồi tốc độ và dòng điện cũng được tiến hành tương tự như ở hình 4-18. Kết quả ta có họ đặc tính cơ của hệ tự động sẽ là những đường nằm ngang giữa 2 đặc tính giới hạn nêu trên (các đường 4 trên hình 4-20c).

* ***Ví dụ 4-2 :*** Chọn điện trở $R_0$ và $R_1$ trong mạch một chiều của sơ đồ điều khiển điện trở xung mạch roto sao cho có thể mở rộng vùng điều chỉnh momen và tốc độ động cơ cả trong trạng thái động cơ cũng như hãm ngược. Số liệu cho trước : Động cơ roto dây quấn 30kW ; 380/220V ; 970vòng/ph, $\lambda = \frac{M_{th}}{M_{dm}} = 2{,}8$ ; $I_{1dm} = 70{,}5A$ ; $R_1 = 0{,}125\Omega$ ; $X_1 = 0{,}23\Omega$ ; $E_{2.nm} = 259V$ ; $I_{2.dm} = 72A$; $R_2 = 0{,}055\Omega$ ; $X_2 = 0{,}225\Omega$ ; hệ số biến áp $K_e = 1{,}4$.

***Giải :***

Đối với bài toán này, các điện trở $R_0$, $R_1$,... cần xác định theo đơn vị tuyệt đối ($\Omega$) còn các đặc tính cơ tương ứng với các điện trở đó có thể biểu thị theo đơn vị tương đối.

- Độ trượt định mức : $$s_{dm} = \frac{n_0 - n_{dm}}{n_0} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0{,}03$$

- Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ tự nhiên :

$$s_{th} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_1 + X_2'\right)^2}} = \frac{R_2 K_e^2}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_1 + X_2 K_e^2\right)^2}}$$

$$= \frac{0,055.1,4^2}{\sqrt{0,125^2 + \left(0,23 + 0,225.1,4^2\right)^2}} = 0,158$$

- Đặc tính cơ tự nhiên sẽ được vẽ qua 3 điểm :

$$\left[M^* = 0; s = 0\right]; \quad \left[M_{dm}^* = 1; s_{dm} = 0,03\right]; \quad \left[M_{th}^* = 2,8; s_{th} = 0,158\right]$$

- Điện trở cố định trong mạch một chiều $R_0$ sẽ được chọn theo (4-30) và lấy theo mức lớn nhất có thể được, nhằm mục đích hạ thấp đặc tính giới hạn ngoài (đường số 1 hình 4-20c), trong đó độ trượt tới hạn $s_{th1}$ càng thấp thì vùng momen hãm ngược càng lớn. Vì vậy chọn :

$$R_0 = 0,2R_{dm} = 0.2.\ \frac{E_{2.nm}}{\sqrt{3}I_{2.dm}} = 0,2.\frac{259}{\sqrt{3}.72} = 0,2.2,08 = 0,41\Omega$$

- Điện trở phụ 3 pha đẳng trị cho $R_0$ được xác định từ (4-25) :

$$R_{f0} = \frac{1}{2}R_0 = 0,205\Omega$$

- Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ giới hạn có điện trở cố định $R_0$ (tương đương là $R_{f0}$) được xác định theo (4-31) hoặc (4-26) :

$$s_{th1} = s_{th}\left(\frac{R_0}{2R_2} + 1\right) = 0,158\left(\frac{0,205}{2.0,055} + 1\right) = 0,747$$

- Đặc tính cơ có độ trượt tới hạn $s_{th1}$ = 0,747 đảm bảo vùng điều chỉnh momen đủ rộng cho cả ở trạng thái hãm ngược (góc phần tư thứ 4) và khi khởi động.

- Để chọn điện trở $R_1$, ta xác định giá trị điện áp chỉnh lưu lớn nhất, ứng với trường hợp động cơ ngắn mạch :

$$U_{d.max} = 2,34.E_{2.nm.(f)} = 2,34\ \frac{E_{2.nm}}{\sqrt{3}} = 2,34.\frac{259}{\sqrt{3}} = 350,3V$$

- Lấy mức hạn chế dòng điện roto : $I_{2.max} = 2I_{2dm}$, tương đương với dòng điện trong mạch một chiều :

$$I_{dcp} = I_{d.max} = 1,226I_{2.max} = 1,226.2.72 = 176,5A.$$

- Điện trở điều chỉnh $R_1$ được xác định theo (4-32) và (4-33) :

$$R_1 = \frac{U_{d.max}}{I_{d.cp}} - R_0 = \frac{350,3}{176,5} - 0,41 = 1,574\Omega$$

- Độ trượt tới hạn của đặc tính cơ giới hạn trong (ứng với $R_{mc} = R_0+R_1 =$ 1,98 Ω) :

$$s_{th2} = s_{th}\left(\frac{R_{mc}}{2R_2}+1\right) = 0,158\left(\frac{1,98}{2.0,055}+1\right) = 3$$

- Đặc tính cơ giới hạn (đường 2 trên hình 4-20c) với $s_{th2} = 3$ và $M^*_{th} = 2,8$ sẽ có vị trí sát trục hoành, với momen ngắn mạch $M^*_{nm.2} = 0,9$.

Chú ý : Tần số đóng cắt của khoá tiristo T cũng được chọn tương tự như tần số đóng cắt của xung điện áp, thường lấy khoảng 500 Hz.

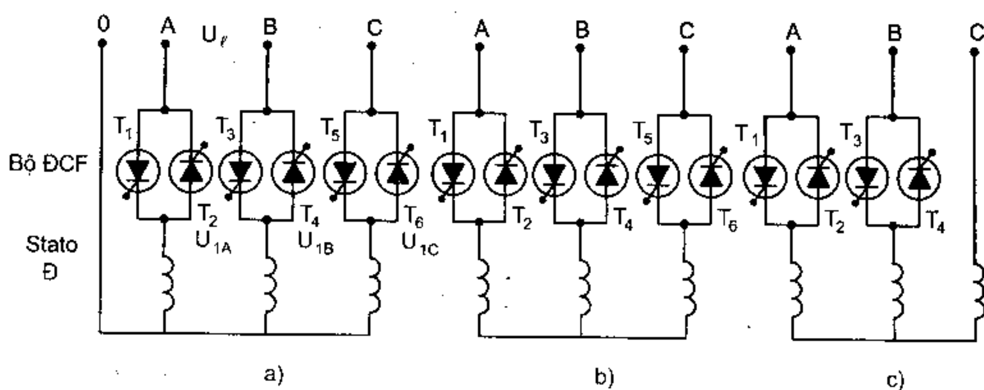
## 4.5. HỆ ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ BẰNG BỘ ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP XOAY CHIỀU DÙNG TIRISTO ( HỆ ĐIỀU CHỈNH PHA-TIRISTO - ĐỘNG CƠ)

### 4.5.1. Bộ điều chỉnh điện áp dùng tiristo

- Để thực hiện nguyên tắc điều khiển động cơ không đồng bộ bằng cách thay đổi điện áp stato $U_1$, ta có thể sử dụng bộ nguồn tiristo, thường gọi là "bộ điều chỉnh pha tiristo". Nó có thể được nối đối xứng trên cả 3 pha stato (sơ đồ a và b- Hình 4-21) hoặc nối không đối xứng vào 2 pha như sơ đồ hình 4-21c. Mỗi pha gồm 2 tiristo nối song song- ngược. Cũng có thể thay cho cặp tiristo bằng một van triac.

Từ sơ đồ ta thấy, điện áp lưới trên đầu vào của bộ điều chỉnh pha là hình sin ($U_\ell$ ở các đầu A, B, C) còn trên đầu ra $U_{1A}$, $U_{1B}$, $U_{1C}$ sẽ bị cắt đi một phần hình sin đúng theo thời điểm mở của các tiristo. Thời điểm mở càng muộn, tức góc mở α càng lớn, thì phần cắt đi càng nhiều, phần điện áp còn lại đặt lên stato động cơ càng nhỏ.

Để thấy rõ dạng điện áp đặt lên động cơ, ta xét sơ đồ 4-21a. Ở đây, dây quấn stato được nối Y có dây trung tính, do đó các pha làm việc độc lập, không phụ thuộc nhau.

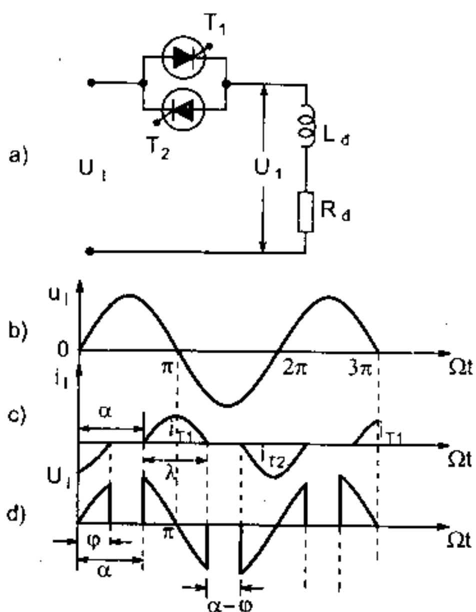



***Hình 4 - 21.*** *Các sơ đồ nối bộ điều chỉnh pha tiristo*

*a) Sơ đồ đối xứng có dây trung tính ; b) Sơ đồ đối xứng nối Y ; c) Sơ đồ không đối xứng*

Nếu tách riêng một pha, ta sẽ được sơ đồ hình 4-22a. Tiristo $T_1$ sẽ mở ở nửa chu kỳ dương của điện áp lưới kể từ thời điểm có xung điều khiển α. Tại π, điện áp lưới chuyển sang nửa chu kỳ âm, nhưng nhờ có năng lượng tích luỹ trong điện cảm $L_đ$ của động cơ nên dòng điện qua $T_1$ vẫn duy trì thêm một khoảng thời gian nữa ứng với góc φ. Ở nửa chu kỳ âm của điện áp lưới, $T_2$ sẽ làm việc tương tự. Kết quả ta có điện áp trên động cơ gồm những phần đường hình sin đứt rời như trên hình 4-22d. Khoảng đứt ($u_1 = 0$) tương ứng với góc α-φ, trong đó α - góc mở của tiristo (góc điều khiển), φ - góc pha của động cơ :

$$tg\varphi = \frac{\Omega L_đ}{R_đ} = \frac{X_đ}{R_đ} \qquad (4\text{-}34)$$




***Hình 4 - 22.*** *Trích một pha của sơ đồ 4-21a: Sơ đồ nối dây và các dạng đồ thị điện áp, dòng điện*

($X_đ$, $R_đ$ - điện kháng và điện trở của động cơ)

Đường cong $u_1 = f(\Omega t)$ như trên hình 4-22d chứa các thành phần sóng hài, trong đó người ta quan tâm đến sóng cơ bản (sóng bậc 1) ứng với tần số của lưới điện (50HZ), vì đây là thành phần sinh công đối với máy điện xoay chiều.

Bằng cách phân tích chuỗi Furie ta nhận được biểu thức của giá trị hiệu dụng sóng bậc 1 ($U_1$), là hàm số phụ thuộc góc α và φ :

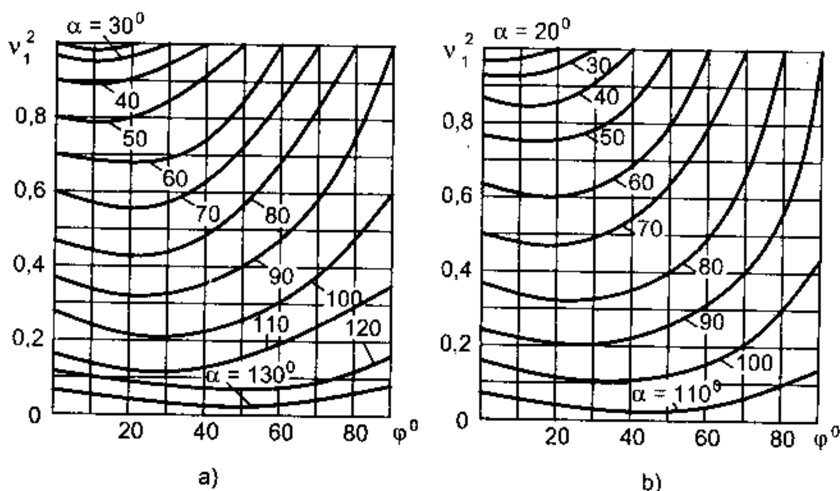
$$\nu_1 = \frac{U_1}{U_\ell} = f(\alpha, \varphi) \qquad (4\text{-}35)$$

Trong đó :

$\nu_1$- giá trị tương đối của $U_1$ ;

$U_\ell$ – giá trị hiệu dụng của điện áp pha lưới.

Vì biểu thức (4-35) phức tạp nên người ta thường biểu thị quan hệ $\nu_1^2 = f(\alpha, \varphi)$ dưới dạng đồ thị như trên hình 4-23, trong đó a – dùng cho sơ đồ nối Y có dây trung tính, b – sơ đồ nối Y không có dây trung tính.

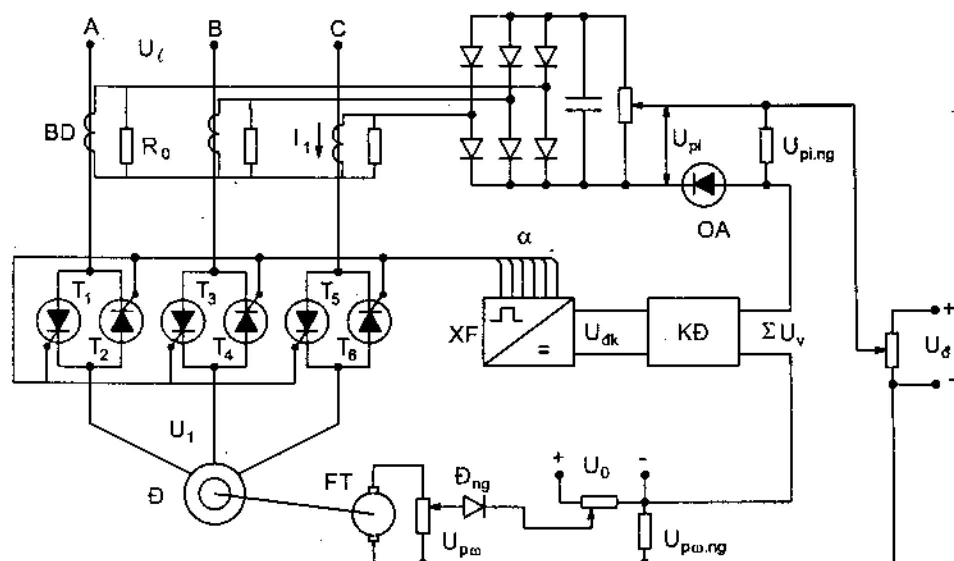



***Hình 4 - 23.*** *Quan hệ $\nu_1^2 = f(\alpha, \varphi)$ của sơ đồ có dây trung tính (a) và không có dây trung tính (b)*

Khi đã cho động cơ và biết chế độ làm việc của nó, ta có giá trị của góc φ, từ đó ta xác định được điện áp đầu ra của bộ điều chỉnh pha $\nu_1$ (hoặc $U_1$) theo góc điều khiển α hoặc ngược lại.

## 4.5.2. Sơ đồ nguyên lý của một hệ "Điều chỉnh pha tiristo- Động cơ" tự động

Bộ điều chỉnh pha tiristo là một bộ nguồn điều chỉnh điện áp xoay chiều linh hoạt và có khả năng điều chỉnh tự động. Người ta có thể sử dụng nó để điều chỉnh dòng điện và momen động cơ kiểu các bộ khởi động có hạn chế dòng điện và momen. Nhiều trường hợp người ta kết hợp để điều chỉnh tốc độ thông qua các khâu phản hồi có ngắt. Hình 4-24 giới thiệu một sơ đồ nguyên lý hệ tự động điều chỉnh dòng điện và tốc độ động cơ.




*Hình 4 - 24. Sơ đồ nguyên lý của một hệ "Bộ điều chỉnh pha tiristo - Động cơ" tự động*

Điện áp khởi động động cơ $U_{10}$ được xác định nhờ tín hiệu đặt $U_d$. Khi khởi động ban đầu, các tín hiệu phản hồi âm theo dòng điện và theo tốc độ đều chưa có :

$$U_{pi.ng} = 0 \quad ; \quad U_{p\omega} = 0$$

Điện áp đặt $U_d$ được đưa vào bộ khuếch đại KĐ tạo ra $U_{dk}$ tương ứng với góc mở van $\alpha_0$ đủ nhỏ; bộ điều chỉnh pha sẽ cho ra điện áp $U_{10}$ đủ lớn để động cơ được khởi động nhanh. Trong quá trình khởi động - tăng tốc, nếu dòng điện động cơ vượt quá giá trị quy định ($I_1 \geq I_{ng}$), thì diot ổn áp OA sẽ thông và trên đầu vào sẽ xuất hiện điện áp phản hồi âm dòng điện $U_{pi.ng}$, làm giảm điện áp $\Sigma U_v$ và $U_{dk}$, do đó làm tăng góc mở α của tiristo, kết quả là làm giảm điện áp $U_1$ và dòng điện $I_1$ của động cơ. Như vậy, động cơ được khởi động với dòng điện $I_{KĐ} = I_{ng} = \text{const}$.

Khi tốc độ động cơ đạt đến giá trị đặt ($\omega \geq \omega_d$), điện áp phản hồi lấy từ máy phát tốc FT đủ lớn : $U_{p\omega} \geq U_0$, diot ngắt $Đ_{ng}$ sẽ thông, và trên đầu vào của hệ thống sẽ xuất hiện thành phần tín hiệu phản hồi âm tốc độ có ngắt $U_{p\omega.ng}$. Tín hiệu này có tác dụng làm ổn định tốc độ động cơ xung quanh giá trị $\omega_d$ (dùng nguyên tắc điều chỉnh tự động theo sai lệch). Giá trị tốc độ đặt sẽ được thay đổi nhờ con trượt trên chiết áp $U_0$.

Nếu biết đặc tính vào-ra của khâu tạo xung-dịch pha XF : [$\alpha = f(U_{dk})$], kết hợp với đồ thị $v_1^2 = f(\alpha,\varphi)$ trên hình 4-23, ta có thể tính ra điện áp $U_1$ và

dựng các đặc tính cơ của hệ hở. Sau đó, lấy các quan hệ tín hiệu phản hồi, tính điện áp tổng hợp trên các đầu vào của hệ $\sum U_v$, ta có thể xây dựng được các đặc tính cơ của hệ tự động vòng kín.

## 4.6. HỆ BIẾN TẦN - ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ CÓ ĐIỀU KHIỂN VECTƠ

Như đã giới thiệu trong chương III, phương pháp điều khiển tần số của động cơ không đồng bộ được ứng dụng rộng rãi, bao gồm nhiều loại sơ đồ, với nhiều luật điều khiển khác nhau, trong đó các hệ biến tần - động cơ không đồng bộ có điều khiển vectơ được coi là có chất lượng cao nhất đồng thời phức tạp nhất. Ý tưởng chung của các hệ điều khiển vectơ là duy trì từ thông động cơ không đổi ở giá trị cực đại $\Phi_{max}$. Đó có thể là từ thông móc vòng roto $\Phi_2$, hoặc từ thông stato $\Phi_1$ hoặc từ thông tổng $\Phi_\mu$. Việc duy trì tự động giá trị từ thông $\Phi_{max}$ được thực hiện theo nguyên lý điều chỉnh sai lệch, nghĩa là so sánh giá trị thực của nó với giá trị đặt $\Phi_{max.d}$. Tuy nhiên, việc lấy tín hiệu từ thông là không thuận tiện, do đó người ta có thể lấy tín hiệu dòng điện stato $I_1$ và sử dụng một khối tính toán để quy đổi từ giá trị dòng điện này thành từ thông.

Trước hết ta xét một sơ đồ điều khiển duy trì từ thông roto $\Phi_2 = \Phi_{2max} = const$, dùng cảm biến từ thông để lấy tín hiệu phản hồi từ thông tổng $\Phi_\mu$ được vẽ trên hình 4-25.

- Mạch động lực của sơ đồ này dùng bộ biến tần BT có khâu trung gian một chiều, trong đó khâu nghịch lưu thường là nghịch lưu áp và được điều khiển theo nguyên lý "điều chế độ rộng xung". Với nguyên lý này, việc điều chỉnh tần số đầu ra ($f_1$) và điện áp đầu ra ($U_1$) của bộ biến tần để cung cấp cho động cơ Đ đều được thực hiện tại khâu nghịch lưu, còn điện áp của khâu chỉnh lưu được giữ không đổi, nghĩa là có thể sử dụng khâu chỉnh lưu diot (không điều chỉnh).

- Mạch điều khiển có hai tín hiệu đầu vào : tín hiệu đặt từ thông $\Phi_{2max.d}$ và tín hiệu đặt tốc độ $\omega_d$ tương ứng với hai mạch vòng điều chỉnh: điều chỉnh từ thông động cơ (nhờ bộ điều chỉnh ĐCΦ và ĐC$I_x$) và điều chỉnh momen động cơ (nhờ bộ điều chỉnh ĐCω và ĐC$I_y$).

Theo lý thuyết máy điện tổng quát, khi ta chập trục x với vectơ $\Phi_2$ và cho quay với tốc độ của từ trường quay $\omega_0$ thì các quan hệ điện từ trong động cơ không đồng bộ sẽ tương tự như của động cơ một chiều. Khi đó, nếu ta phân

tích vectơ dòng điện stato $I_1$ thành hai thành phần trên hệ trục vuông góc x, y là $i_{1x}$ và $i_{1y}$ thì từ thông của động cơ sẽ tỉ lệ với thành phần $i_{1x}$ :

$$\Phi_2 = \Phi_{2x} = \Phi_{2max} = L_{12} i_{1x} = K_{\Phi} i_{1x} \quad (4\text{-}36)$$

và momen của động cơ sẽ tỷ lệ với thành phần $i_{1y}$ :

$$M = p\frac{L_{12}}{L_2}\Phi_{2max} i_{1y} = K_M \Phi_{2max}.i_{1y} \quad (4\text{-}37)$$

Trong đó :

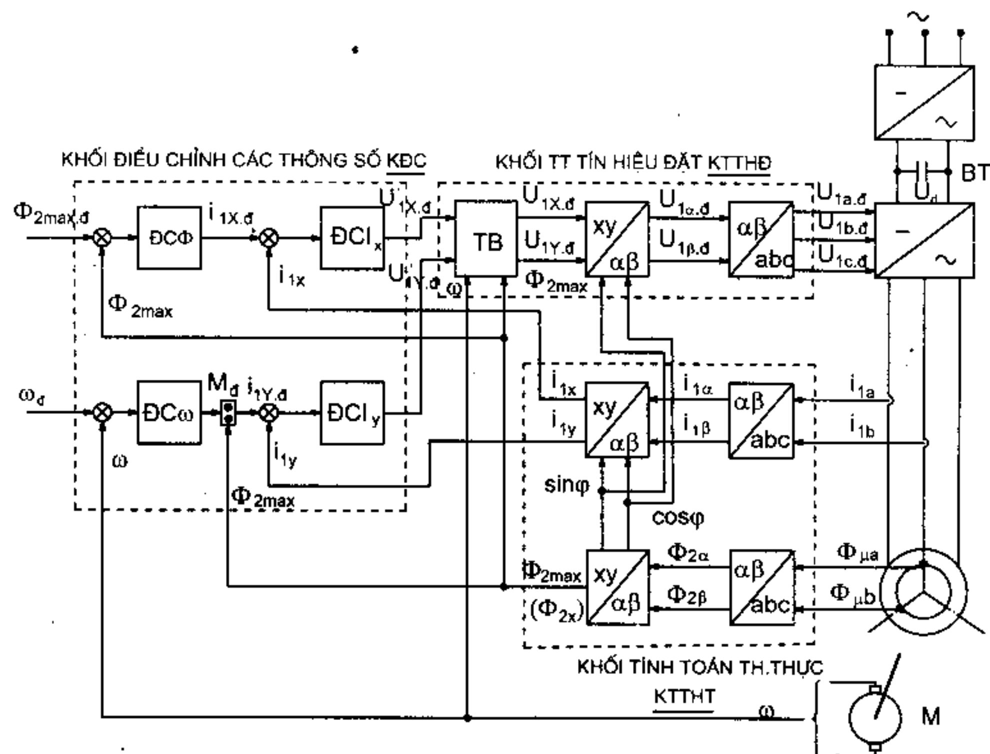
$L_{12}$ – Hệ số hỗ cảm giữa cuộn dây stato và cuộn dây roto ;

$L_2$ – Hệ số tự cảm của cuộn dây roto ;

p – Số đôi cực từ ;

$K_{\Phi}$, $K_M$ – Các hệ số tỷ lệ.

Các biểu thức (4-36) và (4-37) tương tự như các quan hệ của động cơ một chiều, trong đó thành phần $i_{1x}$ giống như dòng kích từ, còn $i_{1y}$ giống như dòng điện phần ứng.




*Hình 4 - 25. Sơ đồ khối (nguyên lý) của hệ BT-ĐKĐB có điều khiển vectơ duy trì từ thông $\Phi_{2max}$ và dùng cảm biến từ thông (Hệ thống Transvector)*

Tuy nhiên, muốn đạt được điều đó, mạch điều khiển phải tiến hành những thao tác tính toán không phải theo các đại lượng thực của động cơ, mà là những đại lượng (từ thông, dòng điện, điện áp) đã được biến đổi về hệ trục toạ độ vuông góc định hướng theo từ trường x, y. Việc tính toán biến đổi đó được thực hiện thông qua một hệ trục vuông góc trung gian α, β (hệ trục này được gắn liền với stato của động cơ - hệ trục đứng yên).

Đó là cơ sở lý thuyết của việc thiết lập hai mạch vòng điều chỉnh độc lập theo từ thông và momen đã giới thiệu ở trên.

- Để thực hiện các thao tác tính toán, trong mạch điều khiển có bố trí ba khối tính toán : Khối tính toán các tín hiệu thực (tín hiệu phản hồi) KTTHT, khối điều chỉnh các thông số KĐC và khối tính toán các tín hiệu đặt KTTHĐ.

***Khối tính toán các tín hiệu thực KTTHT*** : Khối này lấy tín hiệu thực của động cơ ba pha từ các bộ cảm biến phản hồi dòng điện stato và từ thông tổng ($i_{1a}$, $i_{1b}$, $\Phi_{\mu a}$, $\Phi_{\mu b}$), biến đổi thành các đại lượng đẳng trị trên hệ trục trung gian ($i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, $\Phi_{2\alpha}$, $\Phi_{2\beta}$) và sau đó biến đổi về hệ trục quay theo từ trường x,y ($i_{1x}$, $i_{1y}$, $\Phi_{2x} = \Phi_{2max}$, còn $\Phi_{2y} = 0$). Như đã phân tích ở trên, thành phần $i_{1x}$ chính là tín hiệu phản hồi tỷ lệ với từ thông $\Phi_2$, được sử dụng trong mạch vòng điều chỉnh từ thông, còn thành phần $i_{1y}$ tỷ lệ với momen động cơ được dùng làm tín hiệu phản hồi trong mạch vòng điều chỉnh momen.

***Khối điều chỉnh các thông số KĐC*** : Khối này có hai kênh độc lập :

Kênh điều chỉnh từ thông có đầu vào là tín hiệu đặt từ thông $\Phi_{2maxd}$, đầu ra là một thành phần của tín hiệu điện áp $U'_{1xd}$. Trong kênh này có hai bộ điều chỉnh ĐCΦ (điều chỉnh từ thông) và $ĐCI_x$ (điều chỉnh thành phần dòng điện $i_{1x}$) nối theo nguyên lý điều chỉnh độc lập nối tiếp. Tín hiệu đầu ra $U'_{1x}$ sẽ phục vụ cho việc tạo thành tín hiệu đặt đối với thành phần điện áp $U_{1x.d}$, tức thành phần điện áp stato tỷ lệ với từ thông động cơ.

Kênh thứ 2 là kênh điều chỉnh momen có đầu vào là tín hiệu đặt tốc độ $\omega_d$, hai bộ điều chỉnh ĐCω (điều chỉnh tốc độ) và $ĐCI_y$ (điều chỉnh thành phần dòng điện $i_{1y}$) và tín hiệu đầu ra là $U'_{1yd}$. Tín hiệu này ($U'_{1yd}$) phục vụ cho việc tạo ra tín hiệu đặt đối với thành phần điện áp $U_{1y.d}$, tức thành phần điện áp stato tỷ lệ với momen động cơ. Cả bốn bộ điều chỉnh trong khối KĐC đều làm việc theo nguyên tắc điều chỉnh sai lệch bằng cách so sánh tín hiệu đặt với tín hiệu phản hồi lấy từ khối tính toán các tín hiệu thực KTTHT như đã chú thích trên hình vẽ. Trong từng kênh, tín hiệu ra của bộ điều chỉnh này được lấy làm tín hiệu đặt cho bộ điều chỉnh phía sau.

***Khối tính toán các tín hiệu đặt KTTHĐ :*** Đầu vào của khối này là hai tín hiệu $U'_{1xd}$ và $U'_{1yd}$ tương ứng với hai tín hiệu đặt từ thông và momen. Để biến các tín hiệu này thành ra tín hiệu đặt đối với các thành phần điện áp stato $U_{1x.d}$ và $U_{1y.d}$ ta phải thực hiện một phép tính liên động kết hợp với các đại lượng ω và $\Phi_{2max}$. Phép tính đó được thực hiện bởi "bộ tách biệt" TB. Nhờ đó trên đầu ra của bộ tách biệt TB ta nhận được các tín hiệu đặt điện áp stato cho kênh điều chỉnh từ thông ($U_{1x}$) và kênh điều chỉnh momen ($U_{1y}$). Tiếp đó khối KTTHĐ thực hiện các phép biến đổi ngược từ hệ trục x, y sang hệ trục trung gian α, β và cuối cùng chuyển thành các tín hiệu đặt tương ứng cho động cơ ba pha $U_{1ad}$, $U_{1bd}$, $U_{1cd}$. Các tín hiệu này sẽ điều khiển khâu nghịch lưu của bộ biến tần theo yêu cầu đã đề ra từ đầu mục này.

Sơ đồ hình 4-25 có nhược điểm là phải dùng cảm biến từ thông, là loại cảm biến phức tạp nên rất ít dùng. Người ta khắc phục nhược điểm này bằng cách chỉ lấy phản hồi dòng điện $i_a$, $i_b$, $i_c$ và kết hợp với phản hồi vị trí roto, hoặc phản hồi tốc độ để đưa vào một khối tính từ thông. Khi đó sơ đồ khối của hệ thống sẽ phức tạp hơn nhưng nguyên lý chung cũng tương tự như hệ đã xét ở trên.

## 4.7. CÁC SƠ ĐỒ TẦNG CỦA ĐỘNG CƠ KHÔNG ĐỒNG BỘ ROTO DÂY QUẤN

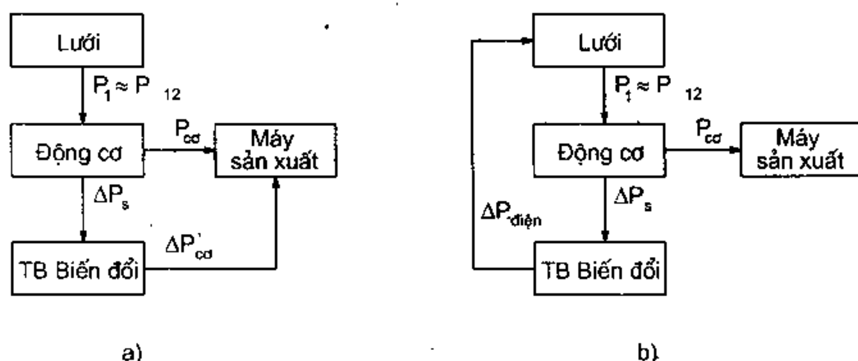
### 4.7.1. Việc sử dụng công suất trượt trong sơ đồ tầng

Như đã trình bày trong chương II, khi động cơ không đồng bộ làm việc ở tốc độ ω ứng với độ trượt s nào đó, công suất lấy từ lưới điện sau khi chuyển thành công suất điện từ ($P_{12} = M_{dt}\omega_0$) sẽ được chia thành hai phần chính : công suất cơ đưa ra trục ($P_{c\sigma} = M\omega$) và công suất trượt chuyển vào mạch roto ($\Delta P_S = P_{12}.s$) theo biểu thức (2-56) (giả thiết bỏ qua các tổn thất trên các dây quấn, lõi thép và ma sát trên ổ trục). Ta có :

$$P_{12} = P_{c\sigma} + \Delta P_S$$

Ở các hệ thống điều khiển đã xét trước đây, công suất $\Delta P_s$ được tiêu tán vô ích trên điện trở mạch roto dưới dạng nhiệt, nên nó được coi như công suất tổn thất – gọi là tổn thất trượt và tỷ lệ với độ trượt s. Điều chỉnh tốc độ càng sâu, độ trượt càng lớn thì tổn thất càng lớn, do đó chỉ tiêu năng lượng của các phương pháp điều chỉnh đã xét càng thấp.

Vì vậy, đối với các động cơ không đồng bộ roto dây quấn công suất lớn, có khả năng phát sinh $\Delta P_S$ lớn, người ta sử dụng phương pháp điều khiển theo sơ đồ tầng, nhằm mục đích sử dụng có ích công suất trượt khi điều chỉnh tốc độ.




*Hình 4 - 26. Biểu đồ năng lượng trong các sơ đồ tầng*
*a) Sơ đồ tầng điện cơ ; b) Sơ đồ tầng điện*

Để thực hiện ý tưởng đó, người ta đưa vào mạch roto một thiết bị biến đổi để tiếp nhận năng lượng trượt ($\Delta P_S$) rồi biến đổi nó thành cơ năng bổ sung vào trục động cơ để cùng quay máy sản xuất (hình 4-26a) hoặc thành điện năng có tần số bằng tần số lưới điện ($f_1$) và trả về lưới (hình 4-26b).

## 4.7.2. Phân loại sơ đồ tầng

Người ta chia sơ đồ tầng thành hai loại tương ứng với hai dạng năng lượng được sử dụng từ công suất trượt của động cơ, như đã mô tả trên hình 4-26 :

- *Sơ đồ tầng điện cơ* có biểu đồ năng lượng hình 4-26a, dùng thiết bị biến đổi điện cơ. Đó là một động cơ điện nối chung trục với động cơ được điều chỉnh. Nếu bỏ qua các tổn thất trong thiết bị biến đổi thì năng lượng trượt được biến đổi thành cơ năng $\Delta P'_{cơ} = \Delta P_S$. Công suất cơ tổng chuyển cho máy sản xuất là:

$$P_{cơ.1} = P_{cơ} + \Delta P'_{cơ} = P_{cơ} + \Delta P_s = P_{12} = M_{đt}\omega_0 = const \quad (4\text{-}38)$$

Vì vậy, sơ đồ tầng điện cơ còn được gọi là tầng có công suất không đổi (khi điều chỉnh tốc độ).

- *Sơ đồ tầng điện* có biểu đồ năng lượng hình 4-26b. Ở đây thiết bị biến đổi là bộ nghịch lưu phụ thuộc, biến năng lượng trượt với tần số của dòng điện roto $f_2$ thành điện năng có tần số của lưới điện $f_1$ để trả về lưới. Nếu giữ dòng điện cấp vào động cơ là định mức ($I_{1đm}$) thì công suất điện từ của động cơ cũng là định mức: $P_{12} = M_{đm}.\omega_0$. Công suất cơ chuyển cho máy sản xuất sẽ là:

$$P_{cơ} = P_{12} - \Delta P_S = M_{đm}\omega_0 - M_{đm}\omega_0 s = M_{đm}\omega_0(1\text{-}s) \quad (4\text{-}39)$$

Như vậy, công suất cơ cấp cho máy sản xuất sẽ phụ thuộc độ trượt, tức phụ thuộc vào tốc độ làm việc. Từ (4-39) ta xác định được momen tải cho phép của động cơ trong sơ đồ tầng điện như sau:

$$M_{cp} = \frac{P_{co}}{\omega} = \frac{M_{dm}\omega_0(1-s)}{\omega} = M_{dm} = const \qquad (4\text{-}40)$$

Trong đó $\omega = \omega_0(1\text{-}s)$- tốc độ làm việc của động cơ.

Vì vậy người ta gọi sơ đồ tầng điện là tầng có momen không đổi.

### 4.7.3. Sơ đồ nguyên lý của tầng điện cơ và tầng điện

*a) Tầng điện cơ*

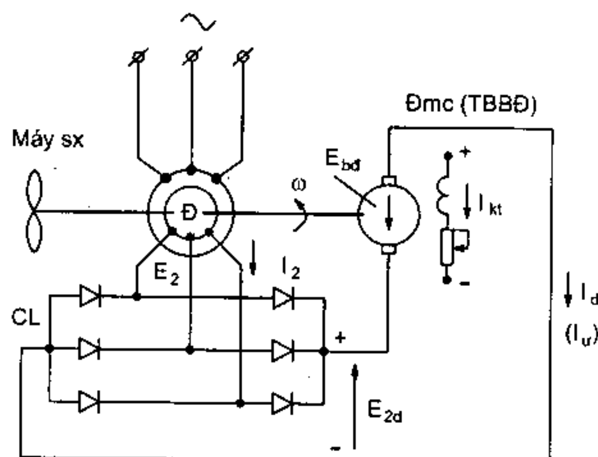
Sơ đồ nguyên lý được vẽ trên hình 4-27. Đ là động cơ được điều chỉnh. Sđđ roto $E_2$ được chỉnh lưu thành sđđ một chiều $E_{2d}$ có biểu thức:

$$E_{2d} = K_u E_2 = K_u.E_{2nm}.s \qquad (4\text{-}41)$$

Trong đó : $K_u = 2{,}34$ – Hệ số của chỉnh lưu cầu ba pha.

$E_{2.nm}$- sđđ ngắn mạch roto (giá trị pha).

Sđđ này được nối vào phần ứng của một động cơ điện một chiều $Đ_{mc}$(kích từ độc lập) đóng vai trò thiết bị biến đổi (trong hình 4.26a). Động cơ này sẽ nhận năng lượng trượt từ bộ chỉnh lưu dưới dạng điện năng một chiều, và biến đổi thành cơ năng trên trục. Trục của nó được nối chung với trục động cơ Đ, do đó nó truyền phần năng lượng trượt về trục cơ của máy sản xuất. Sđđ phần ứng của $Đ_{mc}$ như đã biết, phụ thuộc vào từ thông và tốc độ của nó :




*Hình 4 - 27. Sơ đồ nguyên lý tầng điện cơ*

$$E_{bd} = K\Phi\omega = K.a.I_{kt}\omega \qquad (4\text{-}42)$$

Trong đó, từ thông phụ thuộc dòng điện kích từ : $\Phi = a.I_{kt}$

Dòng điện phần ứng của động cơ $I_d = I_u$ tỷ lệ với dòng điện roto $I_2$ và được xác định theo các sức điện động trong mạch :

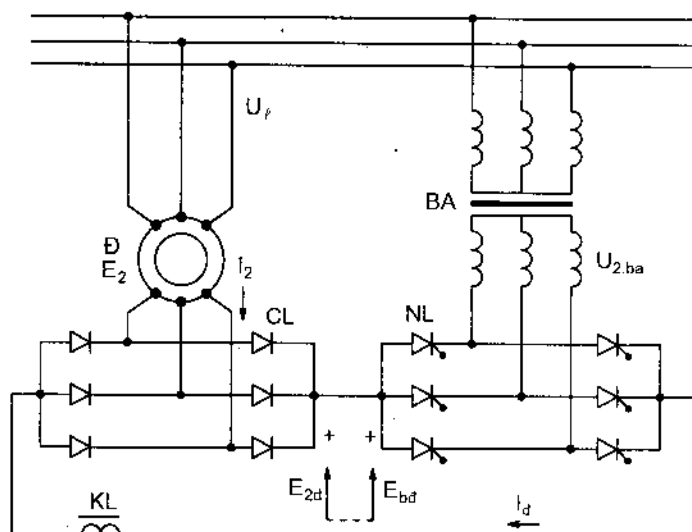
$$I_d = K_i I_2 = \frac{E_{d2} - E_{bd}}{R_t} \qquad (4\text{-}43)$$

Trong đó $R_t$ - điện trở tổng trong mạch chỉnh lưu - động cơ một chiều ($R_t = R_{CL} + R_{bd}$).

Giả sử động cơ đang làm việc tại một điểm xác lập nào đó với tốc độ ω, độ trượt s và dòng điện $I_2$ xác lập, nếu ta thay đổi dòng kích từ của động cơ $Đ_{mc}$, sđđ $E_{bd}$ của nó sẽ thay đổi (xem biểu thức 4-42), dòng điện $I_2$ thay đổi theo biểu thức (4-43), do đó momen động cơ thay đổi. Sự thay đổi của momen sẽ làm tốc độ động cơ thay đổi, và hệ thống sẽ chuyển sang làm việc ở một điểm xác lập mới với tốc độ làm việc khác. Đó là nguyên tắc điều chỉnh tốc độ trong tầng điện cơ.

***b) Tầng điện***

Hình 4-28 giới thiệu một sơ đồ nguyên lý của tầng điện. Ở đây năng lượng trượt trong mạch roto của động cơ Đ (được biểu thị bởi các thông số sđđ xoay chiều $E_2$, dòng điện xoay chiều $I_2$ và tần số mạch roto $f_2 = f_1 s$) cũng được chỉnh lưu thành dạng một chiều (với các thông số $E_{2d}$, $I_d$) nhờ cầu diot CL rồi được truyền vào bộ nghịch lưu NL (với chức năng là thiết bị biến đổi trong biểu đồ hình 4-26b). Ở bộ nghịch lưu này việc chuyển mạch các tiristo được thực hiện nhờ điện áp lưới, do đó năng lượng trượt dạng một chiều sẽ được biến đổi thành xoay chiều có tần số của điện áp lưới, cuối cùng qua máy biến áp BA, năng lượng trượt được trả về lưới điện.




*Hình 4 - 28. Sơ đồ tầng điện*

Trong sơ đồ tầng điện (hình 4-28), dòng điện roto của động cơ $I_2$ hoặc dòng điện trong mạch một chiều $I_d$ cũng được xác định theo biểu thức (4-43) trong đó $E_{bd}$ - sđđ của bộ nghịch lưu có biểu thức :

$$E_{bd} = E_{NL} = U_{d0}\cos\alpha = - U_{d0}\cos\beta \qquad (4\text{-}44)$$

Trong đó : α - góc mở của các tiristo ($\alpha > \pi/2$)

$\beta = \pi - \alpha$ - góc mở chậm của tiristo ở trạng thái nghịch lưu ;

$U_{d0}$ - điện áp lớn nhất của bộ nghịch lưu ứng với trường hợp $\alpha = 0$.

$$U_{d0} = 2{,}34.U_{2.ba}$$

Với $U_{2.ba}$- Điện áp pha thứ cấp của máy biến áp BA.

Từ các biểu thức (4-43) và (4-44) ta thấy, khi thay đổi góc mở α của các van trong bộ nghịch lưu (từ $-\pi/2$ đến $\approx \pi$) tương ứng với sự thay đổi của sđđ nghịch lưu $E_{bd}$ từ 0 đến $\approx U_{d0}$, thì dòng điện $I_d$ và $I_2$ sẽ thay đổi, nhờ đó momen và tốc độ của động cơ sẽ được điều chỉnh.

## 4.7.4. Đặc tính cơ của động cơ trong sơ đồ tầng

*a) Các biểu thức liên quan đến đặc tính cơ*

Để làm cơ sở cho việc tính toán các đại lượng như độ trượt s, tốc độ ω, và momen M phục vụ cho việc vẽ đường đặc tính cơ, ta tìm một số biểu thức liên quan của sơ đồ tầng. Hãy xét sơ đồ tầng điện hình 4-28.

**- Momen động cơ** :

Nếu coi dòng điện roto là hình sin, ta quy đổi công suất trượt trong mạch một chiều ở sơ đồ hình 4-28 về dạng sơ đồ nối điện trở phụ ba pha thông thường có điện trở đẳng trị $R_{2dt}$, thì momen động cơ sẽ là :

$$M = \frac{3I_2^2 R_{2dt}}{\omega_0 s} \qquad (4\text{-}45)$$

**- Điện trở đẳng trị :**

Điều kiện để tính điện trở đẳng trị là coi công suất trượt toả ra trên điện trở ba pha đẳng trị và công suất trượt chuyển vào mạch roto hình 4-28 bằng nhau:

$$3\,I_2^2 R_{2dt} = 2I_d^2 R_2 + U_{bd} I_d \qquad (4\text{-}46)$$

hoặc :

$$R_{2dt} = \frac{2}{3}\frac{I_d^2}{I_2^2} R_2 + \frac{U_{bd}}{3}\frac{I_d}{I_2^2} \qquad (4\text{-}47)$$

Trong đó, dòng điện một chiều $I_d$ và dòng điện roto $I_2$ tỷ lệ với nhau qua hệ số sơ đồ chỉnh lưu :

$$I_d = K_i I_2 \,;\; K_i = \frac{1}{0{,}815} = 1{,}227 \qquad (4\text{-}48)$$

Điện áp trên đầu vào của bộ nghịch lưu $U_{bd}$ được xác định bằng tổng sđđ nghịch lưu $E_{bd}$ và các điện áp rơi trên điện trở trong của bộ nguồn này.

$$U_{bd} = E_{bd} + I_d R_{bd} = 2{,}34 U_{2.ba} \cos\beta + I_d\left(2R_{ba.2} + \frac{m}{2\pi} X_{ba.2}\right) \qquad (4\text{-}49)$$

Trong đó, $R_{ba.2}$ , $X_{ba.2}$ - điện trở và điện kháng của máy biến áp qui đổi về phía thứ cấp:

$$R_{ba.2} = R_{thc} + R'_{sơc} = R_{thc} + R_{sơc}\,\frac{1}{K_{ba}^2} \qquad (4\text{-}50)$$

$$X_{ba.2} = X_{thc} + X'_{soc} = X_{thc} + X_{soc}\frac{1}{K_{ba}^{2}} \qquad (4\text{-}51)$$

Thay $I_d$ từ (4-48) và $U_{bd}$ từ (4-49) vào (4-47) ta có biểu thức của điện trở đẳng trị :

$$R_{2dt} = R_2 + R_{ba.2} + 0{,}48\, X_{ba.2} + \frac{0{,}957U_{2ba}\cos\beta}{I_2} \qquad (4\text{-}52)$$

Trong đó, hệ số trước điện trở $R_2$ và $R_{ba.2}$ (xem biểu thức 4-47) :

$$I \approx \frac{2}{3}.\frac{I_d^2}{I_2^2} = \frac{2}{3}1{,}227^2;$$

$$\text{Hệ số } 0{,}48 = \frac{m}{2\pi}.\frac{I_d^2}{I_2^2}.\frac{1}{3}\ ;\ 0{,}957 = \frac{Ku}{3}.\frac{I_d}{I_2} = \frac{2{,}34}{3}.1{,}227$$

Hai số hạng đầu của vế phải trong (4-52) biểu thị cho phần tổn thất trên điện trở thuần của động cơ và biến áp, số hạng thứ ba biểu thị cho phần tổn thất do chuyển mạch trong các van của nghịch lưu, số hạng thứ tư biểu thị cho phần công suất trượt được nghịch lưu trả về lưới điện.

**- Độ trượt không tải lí tưởng $S_0$** [tương ứng với tốc độ không tải $\omega_{kt} = \omega_0(1-s_0)$] được xác định khi dòng điện $I_d = 0$, tức $I_2 = 0$ và $M = 0$. Từ sơ đồ nguyên lý hình 4-28 ta thấy $I_d = 0$ khi sđđ của bộ chỉnh lưu $E_{2d}$ và sđđ của bộ nghịch lưu $E_{bd}$ bằng nhau :

$$I_d = 0 \text{ khi } |E_{2d}| = |E_{bd}|$$

Thay $E_{2d}$ từ (4-41) vào $E_{bd}$ từ (4-44) ta được:

$$S_0 = \frac{U_{2ba}\cos\beta}{E_{2nm}} \qquad (4\text{-}53)$$

Như vậy nếu cho trước góc mở của các van nghịch lưu β, ta xác định được $s_0$ và $\omega_0$ – tức xác định được một điểm trên đường đặc tính cơ điều chỉnh. Ngược lại, nếu cho trước yêu cầu về cấp tốc độ làm việc ($\omega \approx \omega_{kt}$ và $s \approx s_0$), theo (4-53) ta có thể tìm được góc mở của các van.

**- Điện áp thứ cấp và công suất của máy biến áp :** Máy biến áp BA trong sơ đồ hình 4-28 phải có công suất đủ để chuyển tải được công suất trượt lớn nhất trong dải điều chỉnh tốc độ của động cơ :

$$P_{ba} = \Delta P_{max} \approx P_{dm}S_{max} \qquad (4\text{-}54)$$

Nếu coi $S_{max} = 1$ (tương ứng với trạng thái khởi động), thì công suất máy biến áp phải là :

$$P_{ba} \approx P_{dm} \qquad (4\text{-}55)$$

Khi hệ thống làm việc, trong mạch chỉnh lưu và nghịch lưu có dòng $I_d$ chảy, khi đó :

$$E_{2d} - E_{bd} = I_d(R_{cl} + R_{bd}) \qquad (4\text{-}56)$$

Nếu bỏ qua tất cả sụt áp trên mạch, có thể coi gần đúng : $E_{2d} \approx E_{bd}$

Do đó : $2{,}34E_{2.nm}.S \approx 2{,}34U_{2.ba}\cos\beta$ (4-56a)

Xét cho trường hợp máy biến áp làm việc nặng nhất, ta lấy s = 1 và $\beta = \beta_{min}$

$$U_{2.ba} = \frac{E_{2.nm}}{\cos\beta_{min}} \qquad (4\text{-}57)$$

Thông thường người ta lấy $\beta_{min} = 20^0$, bằng tổng của góc chuyển mạch các van ($\gamma = 15^0$) và góc khoá van an toàn ($\delta = 5^0$), khi đó ta có :

$$U_{2.ba} = \frac{1}{\cos 20^0}E_{2.nm} \approx 1{,}06\ E_{2.nm} \qquad (4\text{-}58)$$

**- Quan hệ giữa độ trượt s và dòng điện $I_2$** : Phương trình $s = f(I_2)$ chính là phương trình của đặc tính cơ điện. Nếu có phương trình này, kết hợp với biểu thức (4-45) ta xây dựng được đặc tính cơ $s = f(M)$ hoặc $\omega = f(M)$.

Khi hệ thống làm việc, điện áp ra của chỉnh lưu roto và điện áp đặt vào bộ nghịch lưu là một:

$$U_{2d} = U_{bd} \qquad (4\text{-}59)$$

Trong đó : $U_{2d} = E_{2d} - I_dR_{CL} = 2{,}34E_{2nm}.s - 2I_dR_{nm2} - \frac{m}{2\pi}X_{nm2}.sI_d$

$$= 2{,}34E_{2nm}.S - 2{,}45I_2(R_{nm2} + 0{,}48X_{nm2}.S) \qquad (4\text{-}60)$$

Với $R_{nm2}$, $X_{nm2}$ - Điện trở và điện kháng ngắn mạch của động cơ quy đổi về phía roto :

$$\left.\begin{aligned} R_{nm2} &= R_2 + R_1' = R_2 + R_1\frac{1}{K_e^2} \\ R_{nm2} &= R_2 + R_1' = R_2 + R_1\frac{1}{K_e^2} \end{aligned}\right\} \qquad (4\text{-}61)$$

$K_e$ – hệ số biến áp của động cơ : $K_e = E_1/E_2 \approx U_1/E_{2.nm}$

Điện áp nghịch lưu $U_{bd}$ được xác định theo biểu thức đã nêu (4-49) :

$$U_{bd} = E_{bd} + I_d R_{bd} = 2{,}34\,U_{2.ba}\cos\beta + 2{,}45 I_2(R_{ba.2} + 0{,}48X_{ba.2})$$

Cân bằng phương trình trên và (4- 60) ta rút ra phương trình $s = f(I_2)$ :

$$s = \frac{U_{2ba}\cos\beta + 1{,}047.I_2(0{,}48X_{ba2} + R_{ba2} + R_{nm2})}{E_{2nm} - 0{,}502\,I_2X_{nm2}} \qquad (4\text{-}62)$$

***b) Trình tự tính toán dựng đặc tính cơ của động cơ trong sơ đồ tầng***

- Trước hết, lấy thông số hoặc tính toán thiết kế máy biến áp để biết giá trị $U_{2.ba}$. Nếu máy biến áp không cho trước, ta chọn $U_{2.ba}$ theo (4-56a) hoặc (4-57).

- Chọn giá trị tốc độ không tải tương ứng với cấp tốc độ cần dựng đường đặc tính cơ và độ trượt $s_0$ :

$$\omega_{kt} \approx \omega_{yc} + s_{dm}\omega_0 \qquad (4\text{-}63)$$

$$s_0 = \frac{\omega_0 - \omega_{kt}}{\omega_0}$$

Trong đó :

$\omega_{yc}$- cấp tốc độ yêu cầu, hoặc tốc độ làm việc trên đặc tính cơ cần dựng ứng với tải định mức ;

$s_{dm}$ - Độ trượt định mức của động cơ ;

$\omega_0$ – tốc độ từ trường quay.

- Tính góc mở chậm của các van nghịch lưu ứng với cấp điều chỉnh $s_0$ đã chọn. Từ (4-53) ta có :

$$\cos\beta = \frac{s_0E_{2nm}}{U_{2.ba}}$$

- Lấy các giá trị $I_2$ khác nhau, tính ra các giá trị s tương ứng theo (4-62) và tính các giá trị tương ứng của $R_{2dt}$ theo (4-52).

- Thay từng bộ giá trị tương ứng $I_2$, s, $R_{2dt}$ đã tính ở trên vào biểu thức (4-45) ta xác định được giá trị M.

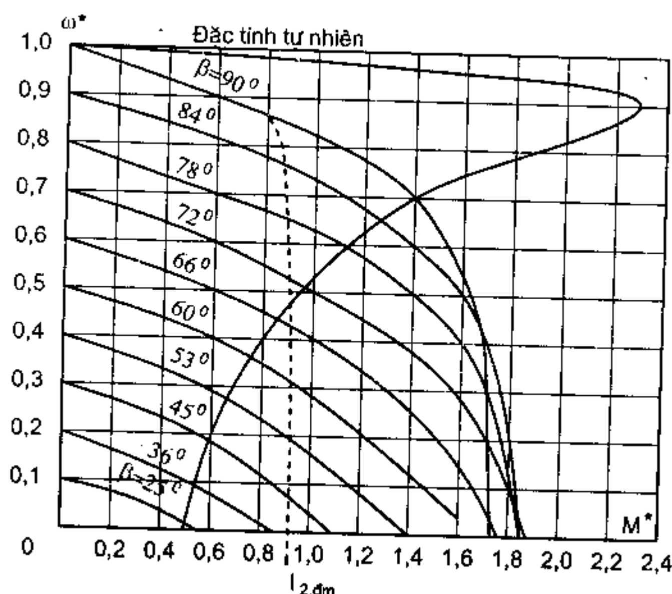
Kết quả được kê trong bảng tính toán 4-2. Trong đó nếu lấy các cặp giá trị $I_2$ và s, ta sẽ vẽ được đặc tính cơ điện, và lấy các cặp giá trị s và M ta sẽ vẽ được đặc tính cơ.

Trên hình 4-29 đưa ra kết quả tính toán đối với động cơ 100kW ; 380/220V ; 1450vg/ph ; $E_{2nm}$ = 136V ; $R_1$= 0,02Ω ; $X_1$ = 0,133Ω ; $R_2$ = 0,12Ω ; $X_2$ = 0,06Ω ; nối sơ đồ tầng điện với bộ biến đổi là nghịch lưu tiristo có máy

biến áp 380/220 (điện áp dây) nối Y/Y; $R_{sơ.c}$ = 0,019Ω ; $X_{sơ.c}$ = 0,024Ω ; $R_{thc}$ = 0,0026Ω ; $X_{thc}$ = 0,014Ω. Họ đặc tính cơ điều chỉnh có $M_{th}$ = const (tầng điện có momen không đổi)

***Bảng 4.2***

| $I_2$ tự chọn | $I_2 = 0$ | $I_{2.1}$ | $I_{2.2}$ | ... | $I_{2.n}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $R_{2đt}$ theo (4-52) | | $R_{2đt.1}$ | $R_{2đt.2}$ | ... | $R_{2đt.n}$ |
| S theo (4-62) | (4-63) $S_0$ | $S_1$ | $S_2$ | ... | $S_n$ |
| M theo (4-45) | M = 0 | $M_1$ | $M_2$ | ... | $M_n$ |




***Hình 4 - 29.*** *Họ đặc tính cơ của động cơ 100kW - 1450vg/ph - 380V nối theo sơ đồ tầng điện*

*Chương V*

# QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ TRONG HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN

Các chương trên đã chú trọng phân tích trạng thái làm việc xác lập của hệ truyền động điện. Đó là trạng thái làm việc của hệ khi momen động cơ cân bằng với momen cản : $M = M_c$. Khi đó các thông số tốc độ, momen, dòng điện của động cơ có giá trị không đổi. Các đặc tính cơ và cơ điện đã xét ở các chương trên đều tương ứng với trạng thái này.

Tuy nhiên, các hệ truyền động đều có khả năng "rơi vào" trạng thái mất cân bằng cơ học, khi $M \neq Mc$ ; Thậm chí có những máy sản xuất mà hệ truyền động của chúng chủ yếu làm việc ở trạng thái mất cân bằng như truyền động của máy bào giường, máy xúc... Hoặc có những loại máy chỉ làm việc ở trạng thái mất cân bằng cơ học như truyền động của búa máy, máy nén pittong ... Người ta gọi trạng thái này là trạng thái quá độ và sẽ được khảo sát sơ bộ để có một số khái niệm cơ bản về nó trong chương này.

## 5.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

**5.1.1. Định nghĩa** : *Quá trình quá độ của hệ truyền động điện là quá trình chuyển đổi từ trạng thái xác lập này sang trạng thái xác lập khác sau khi xảy ra sự mất cân bằng cơ học trong hệ.*

Thực vậy, giả sử hệ đang làm việc xác lập ở một điểm nào đó với mối quan hệ cân bằng giữa momen động cơ và momen cản $M = M_c$ và tương ứng là tốc độ không đổi $\omega$, nếu vì một lý do nào đó mà sự cân bằng trên bị phá vỡ ($M \neq Mc$) thì theo phương trình chuyển động ($M - Mc = Jd\omega/dt$) ta thấy hệ sẽ chuyển động có gia tốc ($d\omega/dt \neq 0$). Khi đó tốc độ của hệ, momen và dòng

điện của động cơ đều biến đổi theo thời gian. Nếu hệ truyền động thoả mãn điều kiện ổn định tĩnh như đã nêu ở chương I (điều kiện $\beta < \beta_c$), thì sau một khoảng thời gian nào đó đồng thời với sự thay đổi của tốc độ, momen của động cơ và momen cản sẽ thay đổi theo chiều hướng tiến đến một sự cân bằng mới : $M' = M'_c$, tương ứng hệ sẽ có tốc độ xác lập không đổi với giá trị khác với giá trị cũ : ω'.

Sự thay đổi theo thời gian của các đại lượng nêu trên là dấu hiện đặc trưng của quá trình quá độ.

***Chú ý:*** Sự mất cân bằng của hệ truyền động cũng xảy ra khi momen quán tính J của hệ thay đổi. Tuy nhiên, chúng ta không xét trường hợp này.

### 5.1.2. Các nguyên nhân gây ra quá trình quá độ

Có nhiều nguyên nhân ban đầu gây ra sự mất cân bằng trong hệ truyền động điện, trong đó có những nguyên nhân do thao tác chủ động của người điều khiển, và những nguyên nhân do tác động ngẫu nhiên trong điều kiện làm việc của hệ.

***a) Các nguyên nhân do thao tác chủ động*** của người điều khiển ví dụ như : đóng mạch điện để khởi động ; chuyển mạch điện để hãm dừng ; thay đổi giá trị các thống số điều khiển để điều chỉnh tốc độ hoặc momen ; đảo điện để đổi chiều quay động cơ, cho ăn tải để thực hiện gia công trên máy sản xuất (đặt momen cản $M_c$); nhả tải để kết thúc gia công (cắt bỏ $M_c$) ...

***b) Các nguyên nhân ngẫu nhiên*** có thể xuất hiện trong hệ thống do những biến động bên trong hoặc do những tác động nhiễu từ bên ngoài, kể cả từ phía nguồn điện cũng như từ phía phụ tải, ví dụ các dao động của điện áp và tần số lưới điện, các biến động ngẫu nhiên của lực cản, momen cản, momen quán tính, sự thay đổi giá trị điện trở của mạch điện do ảnh hưởng của nhiệt độ hoặc điều kiện môi trường ...

### 5.1.3. Phân loại các quá trình quá độ

Có thể phân loại các quá trình quá độ theo nhiều cách.

***a) Phân loại theo quán tính trong hệ*** : cách phân loại bao quát nhất là phân loại theo quán tính tác động đến quá trình quá độ. Ta đã biết có 3 loại quán tính : Quán tính cơ học, quán tính điện từ, và quán tính nhiệt. Tuỳ theo độ lớn của từng loại, có thể xét hoặc bỏ qua chúng khi khảo sát quá trình quá độ, do đó ta có các loại quá trình quá độ sau :

- **Quá trình quá độ cơ học** : là quá trình quá độ xảy ra khi chỉ xét đến quán tính cơ học của hệ, còn quán tính điện từ được bỏ qua. Độ lớn của quán tính cơ học được đặc trưng bởi đại lượng "hằng số thời gian cơ học"

$$T_c = J/\beta \quad (s) \qquad (5\text{-}1)$$

Trong đó, J – momen quán tính của hệ ($kgm^2$); β - độ cứng đặc tính cơ của động cơ hoặc của hệ (N.m.s).

Quá trình quá độ cơ học thường được ứng dụng để khảo sát cho các trường hợp sau :

- Khởi động, hãm, đảo chiều quay động cơ không đồng bộ lồng sóc bằng cách đóng trực tiếp vào lưới điện hoặc qua điện trở phụ stato. Trong các trường hợp đó, vì điện cảm mạch stato động cơ nhỏ nên quán tính điện từ của động cơ có thể bỏ qua.

- Các quá trình quá độ trong các động cơ một chiều và động cơ không đồng bộ roto dây quấn khi điều khiển bằng điện trở phụ trong các mạch chính như các quá trình khởi động, hãm, đảo chiều, điều chỉnh tốc độ ... Khi đó, do mạch chính (mạch phần ứng của động cơ một chiều, mạch roto của động cơ không đồng bộ) có điện cảm nhỏ, mặt khác việc dùng thêm điện trở phụ lại làm tăng điện trở tổng của mạch điện, kết quả là quán tính điện từ trở nên rất nhỏ, vì vậy có thể bỏ qua.

Chú ý rằng quá trình quá độ cơ học tuy đơn giản nhưng rất đặc trưng cho truyền động điện. Còn hằng số thời gian cơ học $T_c$ được coi là hằng số có giá trị lớn và luôn luôn được xét đến trong các loại quá trình quá độ.

**- Quá trình quá độ điện – cơ** : là những quá trình quá độ khi phải xét đến cả quán tính cơ học và quán tính điện từ của mạch điện. Độ lớn của quán tính điện từ được đặc trưng bởi "hằng số thời gian điện từ" $T_{dt}$ và được xác định theo tính chất của mạch điện :

Đối với mạch điện cảm: $$T_{dt} = \frac{L}{R} \ (s) \qquad (5\text{-}2)$$

Trong đó : L - điện cảm của mạch (H) ; R - điện trở của mạch (Ω)

Đối với mạch điện dung : $$T_{dt} = RC \ (s) \qquad (5\text{-}3)$$

Trong đó : C - điện dung của mạch (F);

Như vậy trường hợp này hệ có hai loại quán tính, tương ứng với hai "kho năng lượng". Trong quá trình quá độ, năng lượng sẽ được tích phóng qua lại giữa hai "kho" và thường tạo ra những quá trình giao động của các đại lượng dòng điện, momen và tốc độ.

Quá trình quá độ điện cơ được ứng dụng cho các trường hợp khi quá trình đó xảy ra trong các hệ hoặc các mạch có điện cảm lớn, ví dụ khi điều khiển động cơ một chiều bằng cách thay đổi từ thộng, điều khiển động cơ xoay chiều bằng điện kháng phụ, các hệ chỉnh lưu - động cơ với các bộ chỉnh lưu có sử dụng bộ biến áp và cuộn kháng lọc ...

Riêng quán tính nhiệt được bỏ qua khi xét các quá trình quá độ trong hệ truyền động. Lý do bỏ qua là vì quán tính này quá lớn so với quán tính điện từ và quán tính cơ học.

***b) Phân loại theo tác động gây mất cân bằng cơ học trong hệ :*** Ở cách phân loại ngày người ta chú trọng đến các tác động điều khiển, tức những thao tác chủ động của người điều khiển, ví dụ : quá trình quá độ khởi động (đóng điện cho động cơ), quá trình quá độ hãm động năng, quá trình quá độ đảo chiều, quá trình quá độ tăng tốc, quá trình quá độ ăn tải (tăng momen cản từ 0 đến $M_c$) ... Mỗi quá trình nêu trên đều có thể là quá trình quá độ cơ học hoặc quá trình quá độ điện cở tuỳ theo giá trị của các hằng số thời gian tương ứng.

Trong trường hợp chỉ cần đánh giá chất lượng của hệ, ví dụ đánh giá khả năng làm việc ổn định, mức độ giao động của các đại lượng trong trạng thái quá độ. Người ta chỉ quan tâm đến quá trình khởi động (coi là quá trình tác động điều khiển) và quá trình ăn tải (coi là quá trình quá độ do nhiễu phụ tải).

***c) Phân loại theo dạng biến thiên của tín hiệu tác động :*** cách phân loại này thường liên quan đến các tác động điều khiển, có hai loại sau :

- Các quá trình quá độ khi tín hiệu điều khiển tác động vào động cơ đột biến bậc thang và giữ không đổi trong cả quá trình hoặc trong từng giai đoạn của quá trình. Ví dụ quá trình khởi động động cơ không đồng bộ lồng sóc bằng cách đóng vào lưới điện có điện áp định mức, tần số định mức; quá trình khởi động động cơ điện một chiều bằng điện trở phụ phần ứng qua các cấp ... Những quá trình này đều thuộc về các hệ không tự động, các trường hợp có điện áp và tần số nguồn điện không thay đổi, hoặc các trường hợp có tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$ khôngthay đổi trong thời gian quá độ.

- Các quá trình quá độ khi tín hiệu điều khiển tác động vào động cơ biến thiên liên tục theo thời gian. Ví dụ trường hợp đơn giản như khởi động động cơ một chiều trong hệ máy phát - động cơ (F - Đ). Mặc dù việc khởi động hệ thống được thực hiện bằng cách đóng cuộn kích từ máy phát vào điện áp kích từ $U_{kt}$ có giá trị không đổi, nhưng do quá trình điện từ của mạch kích từ này, nên điện áp máy phát đặt lên phần ứng động cơ tăng dần theo thời gian một cách liên tục.

Các hệ truyền động điện tự động đều có các quá trình quá độ loại này. Khi ta đưa vào hệ một tín hiệu đặt $U_d$ nào đó, thì tín hiệu điều khiển $U_{dk}$ không chỉ phụ thuộc vào tín hiệu đặt mà nó còn phụ thuộc vào các tín hiệu phản hồi (theo tốc độ, dòng điện...). Những tín hiệu phản hồi này biến thiên liên tục trong suốt quá trình quá độ, do đó tín hiệu điều khiển tác động vào động cơ sẽ thay đổi liên tục.

### 5.1.4. Mục đích khảo sát quá trình quá độ

Quá trình quá độ là một trạng thái làm việc quan trọng của truyền động điện. Những điều kiện làm việc nặng nề và những hiện tượng vật lý đặc biệt thường phát sinh trong quá trình này như sự tăng vọt của dòng điện và momen động cơ, việc xuất hiện lực động trong bộ truyền, sự dao động của tốc độ, giá trị của gia tốc ...

Kết quả tính toán quá trình quá độ thường được thể hiện bằng các "đặc tính quá độ". Đó là những đường cong biểu diễn sự biến thiên theo thời gian của tốc độ $\omega = f(t)$, dòng điện động cơ $i = f(t)$, momen động cơ $M = f(t)$.

Dựa vào kết quả tính toán quá trình quá độ ta có thể đánh giá được tình trạng làm việc của hệ truyền động một cách đầy đủ, tìm được các giải pháp làm tăng chất lượng hệ thống, chỉnh định các khí cụ bảo vệ, bổ sung các khâu hiệu chỉnh ... Sau đây là một số mục đích có thể đạt được từ việc khảo sát quá trình quá độ :

- Xác định được thời gian quá trình quá độ $t_{qd}$ và biện pháp rút ngắn thời gian này để làm tăng năng suất của máy sản xuất ;

- Từ đường cong tốc độ $\omega = f(t)$, xác định được gia tốc của hệ và lực động xuất hiện trong hệ thống để có biện pháp khống chế ở mức độ cho phép. Mục đích này thường được đặt ra ở các máy nâng bốc, vận chuyển;

- Từ đường cong dòng điện $i = f(t)$ hoặc đường cong momen $M = f(t)$ ta có những tính toán bổ sung về phát nóng của động cơ, phục vụ cho việc kiểm nghiệm công suất động cơ.

- Xác định trị số dòng điện cực đại của động cơ, phục vụ cho việc chỉnh định các phần tử bảo vệ quá dòng trong hệ.

- Xác định mức độ ảnh hưởng đến lưới điện, như độ sụt áp trên lưới khi khởi động động cơ hoặc trong các quá trình quá độ khác ;

Ngoài ra, ở một số máy móc và thiết bị công nghệ, đòi hỏi phải nghiên cứu đặc biệt với yêu cầu cao về "tạo hình quá trình quá độ" của hệ truyền động sao cho đạt được một dạng đường cong nhất định của tốc độ, gia tốc, momen ,... theo thời gian.

## 5-2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN QUÁ TRÌNH QUÁ ĐỘ

Như trên đã nêu, mục đích tính toán quá trình quá độ là tìm các quan hệ theo thời gian của tốc độ, dòng điện, momen động cơ... $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, ... Các quan hệ đó được gọi chung là "đặc tính quá độ " của hệ truyền động. Tiết này sẽ giới thiệu khái quát phương pháp tính toán và những nội dung cần quan tâm khi phân tích quá trình quá độ.

Các quá trình quá độ của các hệ thống đều được mô tả bằng những phương trình vi phân viết cho các mạch điện (phần điện) và phần cơ của chúng. Vì vậy phương pháp cơ bản để tính toán quá trình quá độ là giải các phương trình vi phân nói trên. Nghiệm của các phương trình này chính là các quan hệ $\omega = f(t)$, $i = f(t)$, $M = f(t)$, ...

Số lượng các phương trình vi phân của một hệ truyền động điện phụ thuộc vào số lượng các quán tính cần xét trong hệ. Đối với các hệ đơn giản, quá trình quá độ có thể mô tả chỉ bằng một hoặc vài phương trình vi phân, khi đó ta có thể tính toán bằng cách giải trực tiếp các phương trình đó. Với các hệ phức tạp, chứa nhiều khâu có quán tính hoặc các hệ truyền động tự động có nhiều mạch phản hồi, người ta phải sử dụng phương pháp gián tiếp để tìm "đặc tính quá độ". Sau đây ta xét một số trường hợp tiêu biểu.

### 5.2.1. Tính toán quá trình quá độ cơ học

***a) Phương trình vi phân mô tả quá trình quá độ cơ học :*** đối với các hệ đơn giản như truyền động dùng động cơ không đồng bộ lồng sóc nối trực tiếp vào lưới điện, truyền động dùng động cơ không đồng bộ roto dây quấn điều khiển bằng điện trở phụ mạch roto, truyền động một chiều có điều khiển bằng điện trở phụ trong mạch phần ứng... khi khảo sát quá trình quá độ ta có thể bỏ qua quán tính điện từ và chỉ xét quán tính cơ học. Người ta gọi đó là quá trình quá độ cơ học.

Như vậy, không kể hệ thống truyền động sử dụng động cơ nào, nếu phần cơ của nó có dạng đơn khối như đã nêu trong chương I, thì quá trình quá độ của nó được mô tả bằng một phương trình vi phân của phần cơ. Đó chính là phương trình chuyển động của hệ :

$$M - M_c = J\frac{d\omega}{dt} \qquad (5\text{-}4)$$

Trong đó :

$M$ – momen của động cơ, được biểu thị bằng phương trình đặc tính cơ $M = f(\omega)$.

$M_c$ - momen cản, được biểu thị bằng phương trình đặc tính cơ của máy sản xuất $M_c = f(\omega)$.

Giả sử đặc tính cơ của động cơ là đường thẳng, ta có :

$$M = M_{nm} - \beta\omega \qquad (5\text{-}5)$$

Ta xét trường hợp momen cản không đổi:

$$M_c = \text{const} \qquad (5\text{-}6)$$

Thay (5-5) và (5-6) vào (5-4) ta có :

$$M_{nm} - \beta\omega - M_c = J\frac{d\omega}{dt} \qquad (5\text{-}7)$$

Với $M_{nm}$ – momen ngắn mạch của động cơ (hình 5-1a);

$\beta = \dfrac{dM}{d\omega} = \dfrac{\Delta M}{\Delta\omega} = \dfrac{M_{nm}}{\omega_0}$ - Độ cứng đặc tính cơ của động cơ.

Biến đổi (5- 7) ta được phương trình vi phân cơ bản viết cho tốc độ:

$$\frac{M_{nm} - M_c}{\beta} = \frac{J}{\beta}\frac{d\omega}{dt} + \omega \qquad (5\text{-}8)$$

Hoặc : $T_c\dfrac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{xl}$ (5-9)

Trong đó đặt : Hằng số thời gian cơ học

$$T_c = \frac{J}{\beta} \qquad (5\text{-}10)$$

Tốc độ xác lập, tức tốc độ làm việc khi kết thúc quá trình quá độ và hệ đạt được trạng thái cân bằng mới với $M = M_c$ là :

$$\omega_{xl} = \frac{M_{nm} - M_c}{\beta} = \frac{M_{nm}}{\beta} - \frac{M_c}{\beta} = \omega_0 - \Delta\omega_c \qquad (5\text{-}11)$$

Nếu biểu thị phương trình đặc tính cơ theo quan hệ ngược với (5-5), dạng $\omega = f(M)$ rồi lấy đạo hàm $d\omega/dt$, thay vào phương trình (5-4) sau đó biến đổi phương trình ta được phương trình vi phân viết cho momen động cơ với dạng hoàn toàn giống (5-9) :

$$T_c\frac{dM}{dt} + M = M_{xl} = M_c \qquad (5\text{-}12)$$

Các phương trình (5-9) và (5-12) mô tả biến thiên tốc độ và momen động cơ theo thời gian trong quá trình quá độ từ điểm làm việc ban đầu cho đến điểm xác lập (cuối cùng).

***b) Đặc tính quá độ***

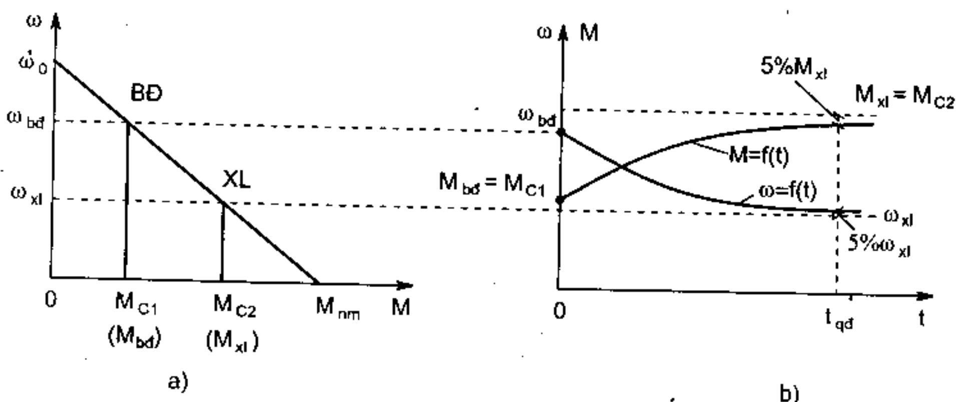
Giải các phương trình (5-9) và (5-12) với điều kiện ban đầu khi $t = 0 \Rightarrow \omega = \omega_{bd}$ và $M = M_{bd}$, ta được nghiệm của chúng là các phương trình đặc tính quá độ :

$$\omega = \omega_{xl} + (\omega_{bd} - \omega_{xl})e^{-t/T_c} \qquad (5\text{-}13)$$

$$M = M_{xl} + (M_{bd} - M_{xl})e^{-t/T_c} \qquad (5\text{-}14)$$

Trong đó ta lấy $M_{xl} = M_c$ ( vì coi $M_c$ = const)

Các phương trình trên cho thấy trong quá trình quá độ cơ học, momen và tốc độ động cơ biến thiên theo thời gian với quy luật hàm mũ từ giá trị ban đầu ($M_{bd}$ , $\omega_{bd}$ ) đến giá trị xác lập ($M_{xl}$, $\omega_{xl}$).




*Hình 5-1. Các đặc tính quá độ M = f(t) và ω = f(t) của quá trình quá độ cơ học*

Để minh hoạ ta lấy ví dụ xét quá trình quá độ trong hệ truyền động điện khi phụ tải động cơ thay đổi từ $M_{c1}$ đến $M_{c2}$ biểu thị trên đồ thị đặc tính cơ hình 5-1a. Điểm làm việc ban đầu BĐ ứng với tải $M_{c1}$ và điểm xác lập (sau khi kết thúc quá trình quá độ) XL ứng với tải $M_{c2}$. Khi đã cho trước số liệu của động cơ, ta coi như có đường đặc tính cơ, do đó xác định được các giá trị $\omega_{bd}$ , $M_{bd} = M_{c1}$, $\omega_{xl}$ , $M_{xl} = M_{c2}$, $\beta = M_{nm}/\omega_0$ , $T_c = J/\beta$.

Thay các giá trị này vào (5-13) và (5-14), cho t các giá trị khác nhau ta vẽ được các đặc tính quá độ $\omega = f(t)$ và $M = f(t)$ hình 5-1b.

***c) Thời gian của quá trình quá độ :*** Về lý thuyết, momen và tốc độ động cơ sẽ đạt đến giá trị xác lập khi thời gian $t \to \infty$, nghĩa là thời gian của quá trình quá độ sẽ là : $t_{qd} = \infty$.

Tuy nhiên, trong thực tế người ta coi quá trình quá độ kết thúc khi tốc độ hoặc momen đạt đến 95% giá trị xác lập. Thay $\omega = 0,95\omega_{xl}$ vào (5-13) ta xác định được thời gian t ương ứng và coi đó là thời gian của quá trình quá độ :

$$t_{qd} \approx 3T_c \qquad (5\text{-}15)$$

Như vậy, đối với quá trình quá độ cơ học, không phụ thuộc vào loại quá trình (khởi động hay hãm dừng, hoặc đảo chiều ... ) thời gian của các quá trình được xác định bởi hằng số thời gian cơ học theo biểu thức (5-15). Nói cách khác, $T_c$ chính là thước đo thời gian của quá trình quá độ cơ học.

Trong nhiều trường hợp, khi cần tăng năng suất hoặc nâng cao chất lượng gia công trên máy sản xuất, người ta cần phải tìm cách rút ngắn thời gian quá

trình quá độ. Từ (5-15) và (5-10) ta thấy có thể giảm $t_{qd}$ bằng các biện pháp sau đây:

- Giảm momen quán tính J của động cơ và của hệ truyền động, ví dụ bằng cách chọn loại động cơ có momen quán tính nhỏ, hoặc nếu quá trình công nghệ cho phép người ta dùng khớp ly hợp để tách bớt các khâu cơ khí liên quan đến trục động cơ trong thời gian quá độ. Tuy nhiên biện pháp này thường khó thực hiện.

- Tăng độ cứng đặc tính cơ β bằng cách chọn loại động cơ có đặc tính cơ cứng, hoặc sử dụng phương pháp điều khiển tự động vòng kín có khâu phản hồi âm tốc độ. Biện pháp này được sử dụng nhiều và đạt hiệu quả cao.

***d) Tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ cơ học*** : Vì tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ khá lớn, do đó đối với các hệ truyền động điện thường xuyên làm việc ở trạng thái quá độ, hoặc các hệ có công suất lớn, người ta thường quan tâm đến chỉ tiêu này và đặt ra vấn đề tìm biện pháp giảm tổn thất đó.

- Ta biết rằng ở trạng thái quá độ, năng lượng lấy từ nguồn cấp vào động cơ $\Delta W_{ng}$ được chia ra hai phần: Một phần được truyền vào khối quán tính để tạo ra động năng làm thay đổi chuyển động của hệ $\Delta W_{dg}$, đó là phần hữu ích; Phần thứ hai là tổn thất vô ích $\Delta W_{tt}$:

$$\Delta W_{ng} = \Delta W_{dg} + \Delta W_{tt} \qquad (5\text{-}16)$$

Trong đó: $\Delta W_{ng} = J\omega_0 (\omega_{cc} - \omega_{bd})$ (5-17)

$$\Delta W_{dg} = J\left(\frac{\omega_{cc}^2 - \omega_{bd}^2}{2}\right) \qquad (5\text{-}18)$$

Do đó :

$$\Delta W_{tt} = \Delta W_{ng} - \Delta W_{dg} = J\left(\omega_0 - \frac{\omega_{bd} + \omega_{cc}}{2}\right)(\omega_{cc} - \omega_{bd}) \qquad (5\text{-}19)$$

Trong các biểu thức trên :

$\omega_0$ – tốc độ không tải lý tưởng.

$\omega_{bd}$, $\omega_{cc}$ – tốc độ làm việc của hệ ở đầu và cuối quá trình quá độ.

Nếu sử dụng đại lượng độ trượt s(hoặc sai số tốc độ so với $\omega_0$), với ký hiệu :

$$s_{bd} = \frac{\omega_0 - \omega_{bd}}{\omega_0} \quad ; s_{cc} = \frac{\omega_0 - \omega_{cc}}{\omega_0} \qquad (5\text{-}20)$$

Thì biểu thức (5-19) được viết lại là :

$$\Delta W_{tt} = \frac{J\omega_0}{2}\left(s_{bd}^2 - s_{cc}^2\right) \qquad (5\text{-}21)$$

Từ (5-19) và (5-21) ta thấy tổn thất năng lượng trong quá trình quá độ đối với một hệ truyền động đã cho với momen quán tính J = const, phụ thuộc vào độ chênh lệch tốc độ ở đầu và cuối quá trình ($\omega_{bd}$,$\omega_{cc}$ hoặc $s_{bd}$, $s_{cc}$) và tốc độ không tải lý tưởng $\omega_0$.

Ta lấy ví dụ về quá trình khởi động : $\omega_{bd} = 0$ ($s_{bd} = 1$), $\omega_{cc} \approx \omega_0$ ($s_{cc} \approx 0$), theo (5-17) , (5-18) và (5-21) ta có :

$$\Delta W_{ng} = J\omega_0^2 \ ; \Delta W_{dg} = \frac{1}{2}J\omega_0^2 \ ; \Delta W_{tt} = \frac{1}{2}J\omega_0^2$$

Như vậy khi khởi động hệ truyền động với $\omega_0$ = const thì năng lượng tổn thất chiếm một nửa năng lượng do nguồn đưa vào hệ, nghĩa là hiệu suất của quá trình khởi động chỉ đạt $\eta = 0,5$.

Để giảm tổn thất trong quá trình quá độ khởi động, người ta thực hiện phương pháp khởi động nhiều cấp, tăng dần tốc độ không tải lí tưởng từ nhỏ đến lớn. Nếu khởi động một cấp $\omega_0$ có tổn thất là $\Delta W_{tt}$ như trên đã xét, thì khi khởi động n cấp với các tốc độ không tải lí tưởng tăng dần, mỗi lần tăng thêm $\omega_0/n$ thì tổn thất năng lượng sẽ giảm đi n lần :

$$\Delta W_{tt}^{(n)} = \frac{\Delta W_{tt}}{n} \qquad (5\text{-}22)$$

Đặc biệt khi khởi động các hệ truyền động tự động, ví dụ hệ CL - Đ (một chiều) có điều chỉnh vô cấp điện áp phần ứng hoặc hệ BT- Đ (xoay chiều) có tần số điều chỉnh vô cấp, ta có $\omega_0$ tăng liên tục ($n \to \infty$), nên tổn thất năng lượng $\Delta W_{tt}^{(n)} \to 0$.

### 5.2.2. Tính toán quá trình quá độ điện - cơ

Đối với các hệ truyền động chứa những mạch điện có quán tính điện từ đủ lớn, khi khảo sát quá trình quá độ ta phải xét đến cả quán tính điện từ và quán tính cơ học. Quá trình đó được gọi là quá trình quá độ điện - cơ.

Nếu ở quá trình quá độ cơ học, ta coi dòng điện và momen động cơ đột biến và xác định theo phương trình đặc tính cơ tĩnh như đã xét ở trên, thì ở quá trình quá độ điện – cơ, dòng điện và momen động cơ biến đổi từ từ do ảnh hưởng của quán tính điện từ.

Trường hợp đơn giản nhất của quá trình quá độ điện-cơ là phần điện của hệ chỉ chứa một hằng số thời gian điện từ. Khi đó, hệ sẽ được mô tả bằng hai

phương trình vi phân (hoặc một phương trình vi phân bậc hai). Ví dụ xét quá trình quá độ trong hệ truyền động dùng động cơ điện một chiều có điều khiển bằng điện áp phần ứng. Ta có hai phương trình sau:

Đối với mạch điện : $$U = K\Phi\omega + R_ư I_ư + L_ư \frac{di_ư}{dt} \qquad (5\text{-}23)$$

và đối với phần cơ : $$M - M_c = J\frac{d\omega}{dt} \qquad (5\text{-}24)$$

hoặc : $$i_ư - I_c = \frac{J}{k\Phi}\frac{d\omega}{dt} \qquad (5\text{-}25)$$

Trong đó, $i_ư = M/k\Phi$ , $I_c = M_c/k\Phi$.

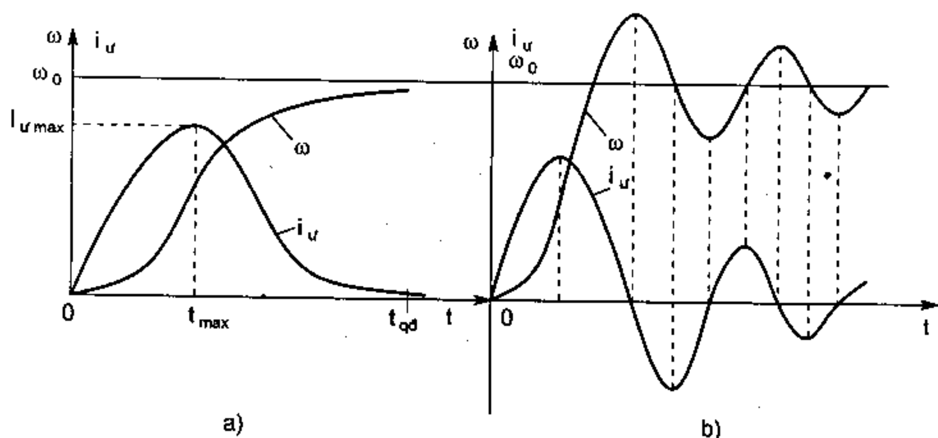
Để đơn giản ta giả thiết xét quá trình quá độ không tải, tức coi $I_c = 0$ và $M_c = 0$, thay (5-25) vào (5-23) ta được phương trình vi phân bậc hai mô tả cho quá trình quá độ điện – cơ (viết cho tốc độ) :

$$T_{dt}T_c\frac{d^2\omega}{dt^2} + T_c\frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 \qquad (5\text{-}26)$$

và phương trình tương tự viết cho dòng điện :

$$T_{dt}T_c\frac{d^2 i_ư}{dt^2} + T_c\frac{di_ư}{dt} + i_ư = 0 \qquad (5\text{-}27)$$

Trong đó, hằng số thời gian điện từ : $T_{dt} = \frac{L_ư}{R_ư}$ ; tốc độ xác lập $\omega_{xl} \approx \omega_0$ và dòng điện xác lập $I_{xl} = I_c = 0$ viết cho trường hợp khởi động không tải.




***Hình 5 - 2.*** *Các đặc tính quá độ của quá trình quá độ điện cơ*

*a) Kki* $T_{dt} < \frac{1}{4}T_c$ *b) Kki* $T_{dt} > \frac{1}{4}T_c$

Các đặc tính quá độ $\omega = f(t)$ và $i_ư = f(t)$ là nghiệm của các phương trình (5-26) và (5-27). Nếu $T_{dt}$ có giá trị không đủ lớn : $T_{dt} < \frac{1}{4}T_c$ thì đặc tính quá độ có dạng như hình 5-2a ; nếu $T_{dt}$ có giá trị đủ lớn : $T_{dt} > \frac{1}{4}T_c$ thì đặc tính quá độ có dạng dao động như hình 5-2b.

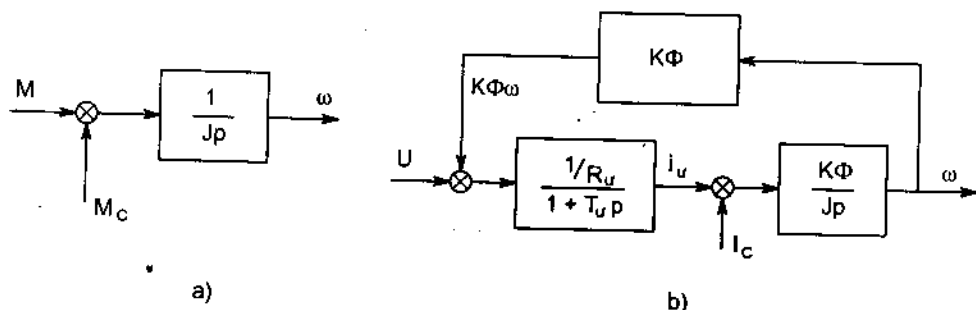
### 5.2.3. Tính toán quá trình quá độ trong các hệ phức tạp

Đối với các hệ phức tạp, phần điện chứa nhiều phần tử có quán tính điện từ hoặc các hệ truyền động tự động, quá trình quá độ là những quá trình động học được mô tả bằng nhiều phương trình vi phân, do đó việc giải trực tiếp các phương trình đó sẽ gặp nhiều khó khăn, vì vậy người ta thường sử dụng phương pháp mô hình hoá để giải gián tiếp. Nội dung của phương pháp này như sau:

Trước hết ta biến đổi phương trình vi phân mô tả quá trình quá độ của các phần tử trong hệ về dạng ảnh laplace bằng cách thay phép tính d/dt bằng toán tử p. Kết quả ta được phương trình dạng đại số (thay cho phương trình vi phân). Ví dụ phương trình chuyển động (5-4) của quá trình quá độ cơ học, hoặc của phần cơ trong hệ truyền động, được viết thành :

$$M - M_c = Jp\omega \qquad (5\text{-}28)$$

Theo đó, mô hình của phần cơ sẽ có dạng một sơ đồ cấu trúc như trên hình 5-3, a với lượng và o là $M - M_c$ và lượng ra là $\omega$.




*Hình 5 - 3. Sơ đồ cấu trúc (mô hình toán) của phần cơ hoặc của hệ truyền động có quá trình quá độ cơ học (a) và hệ có quá trình quá độ điện - cơ hoặc của động cơ một chiều (b).*

Tương tự như vậy, đối với hệ truyền động có quá trình điện –cơ như đã xét ở trên (hoặc hệ truyền động dùng động cơ một chiều điều khiển bằng điện áp phần ứng, có xét đến quán tính điện từ mạch phần ứng và quán tính cơ học trong phần cơ của hệ), được mô tả bằng hệ hai phương trình vi phân (5-23) và (5-25), ta biến đổi các phương trình này về dạng :

$$U - K\Phi\omega = R_ư\,(1+T_{dt}P)i_ư \qquad (5\text{-}29)$$

$$i_u - I_c = \frac{J}{K\Phi} p\omega \qquad (5\text{-}30)$$

Theo đó ta có mô hình của hệ là sơ đồ cấu trúc hình 5-3b.

Theo cách làm trên, đối với các hệ phức tạp, ta cũng lập được sơ đồ cấu trúc một cách dễ dàng. Ví dụ hệ thống "bộ biến đổi - động cơ một chiều" có khâu phản hồi âm tốc độ (tương tự sơ đồ hình 3 -10), có các phần tử sau : bộ biến đổi, động cơ một chiều và phần cơ của hệ. Trong đó, mô hình toán của động cơ và phần cơ đã được trình bày ở trên (hình 5-3b), còn bộ biến đổi thường có tính chất của một khâu quán tính.

Hãy lấy ví dụ bộ biến đổi là máy phát điện một chiều (sơ đồ hình 4 - 1), sđđ $E_{bd}$ của nó tỷ lệ với dòng điện kích từ $i_k$ với hệ số tỷ lệ là $K_{bd}$ :

$$E_{bd} = K_{bd} i_k \qquad (5\text{-}31)$$

Viết phương trình vi phân cho mạch kích từ của máy phát ta có :

$$U_k = R_k i_k + L_k \frac{di_k}{dt} \qquad (5\text{-}32)$$

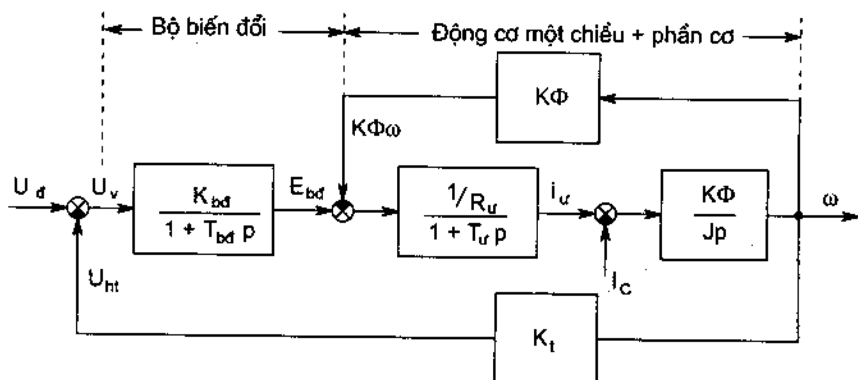
Trong đó : $U_k$ điện áp kích từ, $R_k$ và $L_k$ - điện trở và điện cảm của cuộn kích từ máy phát.

Biến đổi (5-32) về dạng toán tử p :

$$U_k = R_k i_k (1 + T_{bd} p) \qquad (5\text{-}33)$$

Trong đó : $T_{bd} = L_k/R_k$ là hằng số thời gian điện từ trong mạch điều khiển của bộ biến đổi ; trong ví dụ này, $T_{bd}$ chính là hằng số thời gian kích từ của máy phát điện.

Từ (5-31) và (5-32) ta lập được mô hình của bộ biến đổi như phần bên trái của hình 5-4.




*Hình 5 - 4. Sơ đồ cấu trúc của hệ "bộ biến đổi - động cơ một chiều" có khâu phản hồi âm tốc độ.*

Ghép mô hình của bộ biến đổi với các khâu trong hệ, ta được sơ đồ cấu trúc của hệ (hình 5-4).

Việc tính toán quá trình quá độ (quá trình động) của các hệ này được thực hiện theo các phương pháp trong lý thuyết điều khiển tự động : biến đổi sơ đồ cấu trúc của hệ về dạng thuận tiện cho tính toán, viết hàm truyền đạt cho toàn hệ thống và tìm ra đặc tính quá độ.

Phương pháp tính toán phổ biến nhất hiện nay là mô hình hoá trên máy tính với sự trợ giúp của các chương trình phần mềm chuyên dụng, ví dụ phần mềm MATLAB - SIMULINK.

* ***Ví dụ 5-1 :*** Tính toán để xây dựng đặc tính quá độ $\omega = f(t)$ và $M = f(t)$ và xác định thời gian khởi động $t_{kđ}$ cho quá trình khởi động không tải của hệ truyền động dùng động cơ không đồng bộ lồng sóc khi đóng trực tiếp động cơ vào lưới điện. Số liệu cho trước : Động cơ 28kW, 380/220V, 1460vg/ph, $\lambda = M_{th}/M_{đm} = 2,3$ , momen quán tính roto $J_đ = 0,975$ Kgm$^2$. Momen quán tính của hệ thống: $J = 1,2\ J_đ$.

***Giải :***

*a) Xác định thêm các số liệu của động cơ và của hệ truyền động*

Tốc độ góc định mức : $\omega_{đm} = n_{đm}/9,55 = 1460/9,55 = 152,8$rad/s.

Tốc độ không tải lí tưởng : $\omega_0 = 1500/9,55 = 157$rad/s

Độ trượt định mức : $s_{đm} = \dfrac{n_0 - n_{đm}}{n_0} = \dfrac{1500-1460}{1500} = 0,026$

Độ trượt tới hạn : $s_{th} \approx s_{đm}\ (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\ ) = 0,026\ (2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1}\ ) = 0,113$

Momen định mức : $M_{đm} = \dfrac{P_{đm}.1000}{\omega_{đm}} = \dfrac{28.000}{152,8} = 183,2\text{Nm}$

Momen tới hạn : $M_{th} = \lambda M_{đm} = 2,3.183,2 = 421,36$ Nm

Momen quán tính của cả hệ thống truyền động :

$$J = 1,2J_đ\ = 1,2.0,975 = 1,17\text{Kgm}^2.$$

Vì khởi động không tải, nên : $M_c = 0$.

Độ trượt ban đầu : $s_{bđ} = 1$ (tức $\omega_{bđ} = 0$)

Độ trượt xác lập về lí thuyết (khởi động không tải): $s_{xl} = 0$

Tuy nhiên, thực tế ta lấy độ trượt cuối cùng : $s_{cc} \approx s_{đm} = 0,026$.

*b) Tìm đặc tính s = f(t) và ω = f(t) trong thời gian khởi động*

Trường hợp đang xét thuộc quá trình quá độ cơ học. Với giả thiết khởi động không tải, nên ta thay $M_c = 0$ vào phương trình vi phân (5-4), ta được :

$$M = J\frac{d\omega}{dt} \qquad (5\text{-}34)$$

Trong đó, momen động cơ M phụ thuộc độ trượt s theo phương trình đặc tính cơ :

$$M = \frac{2M_{th}}{\dfrac{s}{s_{th}} + \dfrac{s_{th}}{s}} \qquad (5\text{-}35)$$

Độ trượt và tốc độ có quan hệ : $\omega = \omega_0(1\text{-}s)$, nên lấy đạo hàm cả hai vế ta được :

$$\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0\frac{ds}{dt} \qquad (5\text{-}36)$$

Thay (5-35) và (5-36) vào (5-34) ta có :

$$\frac{2M_{th}}{\dfrac{s}{s_{th}} + \dfrac{s_{th}}{s}} = -J\omega_0\frac{ds}{dt}$$

hoặc :

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2}\left(\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}\right)ds \qquad (5\text{-}37)$$

Thời gian diễn biến của quá trình khởi động từ 0 đến t sẽ tương ứng với sự biến thiên của độ trượt từ $s_{bđ}$ đến giá trị tức thời s, do đó lấy tích phân hai vế biểu thức (5-37):

$$\int_0^t dt = \int_{s_{bđ}}^{s} -\frac{J\omega_0}{2M_{th}}\left(\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}\right)ds$$

ta được :

$$t = \frac{1}{2}T_{co}\left(\frac{s_{bđ}^2 - s^2}{2s_{th}} + s_{th}\ln\frac{s_{bđ}}{s}\right) \qquad (5\text{-}38)$$

Trong đó, $T_{co}$ - hằng số thời gian cơ học qui ước:

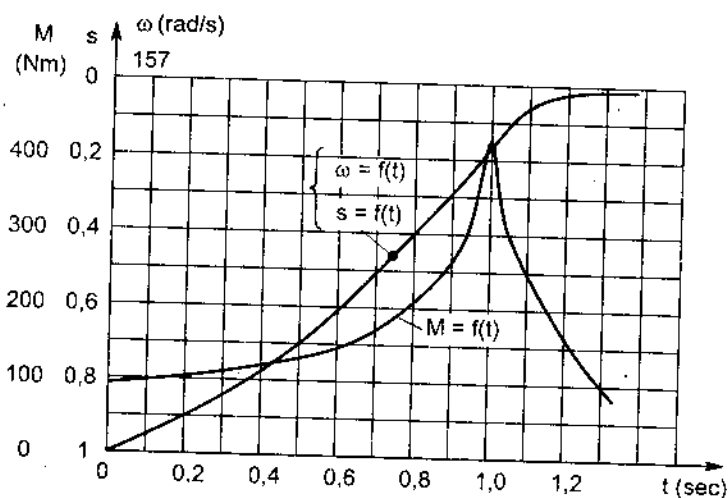
$$T_{co} = \frac{J\omega_0}{M_{th}} = \frac{1,17.157}{421,36} = 0,436 \quad \text{sec}$$

Thay giá trị $T_{co}$ = 0,436 sec; $s_{bd}$ = 1; $s_{th}$ = 0,113 vào (5-38) ta tìm được phương trình t = f(s), một dạng biểu thị của đặc tính quá độ s = f(t) hoặc ω = f(t) :

$$t = 0,218\left[\frac{1-s^2}{0,226} + 0,113\ln\frac{1}{s}\right] \qquad (5\text{-}39)$$

Cho s các giá trị khác nhau từ 1 đến 0, ta tính được các giá trị tương ứng của t theo (5-39) đồng thời tính được các giá trị tốc độ tương ứng theo biểu thức $\omega = \omega_0(1-s)$. Các số liệu tính toán được ghi trong bảng 5-1.

Mỗi cặp giá trị s và t hoặc ω và t trong bảng cho ta một điểm trên đặc tính s = f(t) và ω = f(t) kết quả ta có đường cong của đặc tính quá độ này trên hình 5-5.




***Hình 5 - 5.*** *Đặc tính quá độ ω = f(t) khi khởi động trực tiếp (không tải) động cơ 28kw 1460vg/ph*

*c) Tìm đặc tính quá độ M = f(t).* Đặc tính quá độ momen M = f(t) được xây dựng bằng cách kết hợp đặc tính s =f(t) và đặc tính cơ M = f(s).

Đặc tính cơ của động cơ, với các số liệu đã cho và đã tính sẵn trong mục a, có phương trình :

$$M = \frac{2M_{th}}{\dfrac{s}{s_{th}} + \dfrac{s_{th}}{s}} = \frac{842,72}{\dfrac{s}{0,113} + \dfrac{0,113}{s}} \qquad (5\text{-}40)$$

Thay các giá trị s đã chọn trong bảng 5-1 vào (5-40) ta xác định được các giá trị M tương ứng và ghi vào bảng (dòng cuối). Trong đó, chú ý điểm s = 1, M = 94,05Nm tương ứng với t = 0 là điểm ban đầu của quá trình khởi động ($M_{nm}$ = 94,05Nm) ; điểm s = 0,113; M = 421,36Nm ứng với t = 1sec là điểm

tới hạn của động cơ; còn điểm cuối của quá trình khởi động ta coi là điểm định mức, có s = 0,026 ; M = 183,2Nm.

***Bảng 5-1***

| S(chọn trước) | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0.113 | 0,05 | 0,026 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\omega=\omega_0(1-s)$ | 0 | 15,7 | 31,4 | 47,1 | 78,5 | 94,2 | 125,6 | 139,2 | 149,1 | - |
| t (theo 5-39) sec | 0 | 0,185 | 0,35 | 0,5 | 0,74 | 0,83 | 0,96 | 1,0 | 1,035 | - |
| M (theo 5-40) Nm | 94,05 | 104,3 | 116,7 | 132,7 | 181,4 | 220,6 | 361,7 | 421,36 | 311 | 183,2 |

Mỗi cặp giá trị M và t trong bảng 5-1 cho ta một điểm trên đặc tính quá độ momen. Kết quả ta có đường cong M = f(t) như trên hình 5-5.

*d) Xác định thời gian khởi động*

Coi quá trình khởi động kết thúc khi độ trượt đạt đến giá trị cuối cùng $s_{cc} \approx s_{dm}$, thay $s = s_{cc}$ vào (5-38) ta có biểu thức xác định thời gian quá trình quá độ khởi động của động cơ trong hệ.

$$t_{kd} = \frac{1}{2}T_{co}\left(\frac{s_{bd}^2 - s_{cc}^2}{2s_{th}} + s_{th}\ln\frac{s_{bd}}{s_{cc}}\right) \qquad (5\text{-}41)$$

thay $s \approx s_{cc} =$ = 0,026 vào (5-39) ta tìm được thời gian khởi động :

$$t_{kd} = 0,218\left[\frac{1-0,026^2}{0,226} + 0,113\ln\frac{1}{0,026}\right] = 1,05\sec$$

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Định nghĩa quá trình quá độ trong hệ truyền động điện? Khi nào thì xảy ra quá trình quá độ ? Vì sao có hiện tượng quá độ xảy ra trong hệ ? Lấy các ví dụ thực tế về quá trình quá độ trong thời gian làm việc của động cơ và của hệ truyền động.

2. Tính toán hoặc khảo sát quá trình quá độ để làm gì ? Nếu không chú ý đến quá trình quá độ ta có thể gặp khó khăn gì khi vận hành các hệ truyền động điện.?

3. Phương trình cơ bản để tính toán quá trình quá độ cơ học là phương trình nào ? Viết và giải thích các đại lượng trong phương trình. Các đại lượng nào được coi là cho trước và chúng được lấy từ đâu ? Có thể đơn giản hoá phương trình này như thế nào ?

4. Dạng chung của các đặc tính quá độ cơ học như $\omega = f(t)$ , $M = f(t)$ như thế nào ? Viết phương trình và vẽ đường cong các đặc tính đó, phân tích ý nghĩa của hằng số thời gian cơ học của hệ.

5. Thời gian quá trình quá độ cơ học phụ thuộc vào những yếu tố nào ? Làm thế nào để rút ngắn thời gian quá độ cơ học ?

6. Có thể sử dụng phép tính quá trình quá độ cơ học để phân tích cho những trường hợp nào và của những hệ thống truyền động nào khi bỏ qua những yếu tố nào trong hệ ?

7. Định nghĩa quá trình quá độ điện - cơ. Lấy một vài ví dụ về quá trình quá độ điện - cơ trong các hệ truyền động điện.

# *Chương VI*

# TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ

## 6.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Chọn động cơ để trang bị cho máy sản xuất là một trong các mục tiêu của môn học truyền động điện. Để chọn được động cơ ta cần xét đến các yếu tố sau : loại động cơ (một chiều, không đồng bộ, đồng bộ ... ), khả năng điều chỉnh và phương pháp thực hiện điều chỉnh, cấp điện áp, kiểu cấu tạo và loại vỏ bảo vệ, cấp tốc độ định mức, công suất yêu cầu và một số yêu cầu riêng tuỳ theo từng loại máy hoặc môi trường làm việc.

Nói chung, phần lớn các yếu tố trên được lựa chọn bằng cách căn cứ vào yêu cầu của quá trình công nghệ trên máy sản xuất, đặc điểm của nguồn điện, đặc điểm của môi trường làm việc ... để quyết định phương án. Riêng yếu tố công suất động cơ đòi hỏi phải tính toán từng bước chặt chẽ và được coi là yếu tố quyết định cho việc lựa chọn đúng đắn động cơ truyền động cho máy sản xuất. Sau đây ta khảo sát một số nội dung cơ bản của việc tính toán công suất động cơ.

### 6.1.1.Mục đích của việc tính toán công suất động cơ

Tính toán công suất cho động cơ theo yêu cầu của máy sản xuất là việc làm quan trọng để lựa chọn động cơ trang bị cho máy. Nếu tính chọn đúng công suất, thì hệ truyền động sẽ làm việc an toàn, kinh tế, động cơ sẽ làm việc đúng tuổi thọ thiết kế của nó, và máy sản xuất sẽ phát huy hết năng suất. Nếu chọn công suất động cơ quá lớn so với yêu cầu của máy (sau đây ta gọi là của phụ tải) thì kích thước và trọng lượng của động cơ cũng như của cả hệ truyền động sẽ lớn lên, làm tăng vốn đầu tư ban đầu. Mặt khác, động cơ sẽ thường xuyên làm việc non tải nên hiệu suất thấp, và nếu hệ sử dụng điện xoay chiều thì hệ số công suất cosφ cũng sẽ thấp. Ngược lại, nếu chọn công suất động cơ quá nhỏ so với yêu cầu của phụ tải, thì động cơ sẽ phát nóng quá nhiệt độ cho phép, cách điện trong động cơ chóng già, tuổi thọ động cơ sẽ giảm xuống.

Có thể lượng hoá nội dung trên bằng quan hệ sau: Nếu chọn đúng công suất động cơ thì :

$$t^0_{max} \le t^0_{cp} \qquad (6\text{-}1)$$

Trong đó : $t^0_{max}$ - nhiệt độ lớn nhất của động cơ trong quá trình làm việc.

$t^0_{cp}$ - nhiệt độ cho phép của động cơ, được quy định bởi nhiệt độ cho phép của cấp cách điện sử dụng trong động cơ, ví dụ cấp A : $105^0$, cấp E : $120^0$, cấp B : $130^0$.

Như vậy, việc tính chọn công suất động cơ thực chất là tính toán nhiệt độ làm việc của động cơ khi đã cho trước công suất đòi hỏi của máy sản xuất.

### 6.1.2. Sự phát nóng và nguội lạnh của động cơ điện

Từ nhận xét nêu trên, ta thấy để có cơ sở tính toán công suất động cơ ta cần xét quá trình phát nóng và nguội lạnh động cơ khi đóng cắt điện hoặc khi tăng giảm phụ tải của nó.

Vì động cơ điện có cấu tạo phức tạp, nên việc tính toán nhiệt của nó là khó khăn . Để cho đơn giản khi phân tích, ta đặt một số giả thiết sau :

- Coi động cơ là vật thể đồng nhất về cấu tạo có hệ số dẫn nhiệt vô cùng lớn và nhiệt độ ở mọi điểm trong động cơ đều như nhau;
- Coi nhiệt dung C và hệ số tản nhiệt A của động cơ là hằng số.

Một động cơ có hiệu suất là η, khi làm việc với phụ tải trên trục $P_c$ thì tổn thất công suất trong động cơ sẽ là :

$$\Delta P = P_c \frac{1-\eta}{\eta} \qquad (6\text{-}2)$$

Sau thời gian dt, nhiệt lượng sinh ra trong động cơ sẽ là : ΔP.dt (jun). Nhiệt lượng đó được chia làm hai phần : một phần để đốt nóng động cơ và phần còn lại toả ra môi trường xung quanh. Ta có phương trình cân bằng nhiệt như sau :

$$\Delta P.\, dt = c d\tau + A\tau.dt \qquad (6\text{-}3)$$

Trong đó :

$\tau = t^o_{dc} - t^o_{mt}$ là nhiệt sai của động cơ, là hiệu số giữa nhiệt độ của động cơ ( $t^o_{dc}$ ) và nhiệt độ của môi trường ( $t^o_{mt}$ ).

C - Nhiệt dung của động cơ, là nhiệt lượng cần thiết để nâng nhiệt độ của động cơ lên $1^oC$ (j/độ).

A - Hệ số tản nhiệt của động cơ, là nhiệt lượng toả ra mặt ngoài của động cơ trong thời gian 1giây khi nhiệt độ của nó cao hơn nhiệt độ môi trường xung quanh $1^oC$ (W/độ).

Giải phương trình (6-3) ta được biểu thức của nhiệt sai $\tau$ phụ thuộc vào thời gian t như sau :

$$\tau = \tau_{od} + (\tau_{bd} - \tau_{od}) e^{-\frac{t}{T_n}} \qquad (6\text{-}4)$$

Trong đó :

$T_n$ – hằng số thời gian phát nóng của động cơ. :

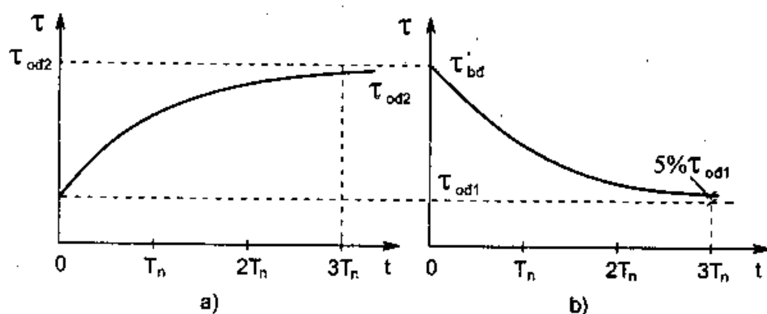
$$T_n = \frac{C}{A} \quad [s] \qquad (6\text{-}5)$$

$\tau_{od}$ - nhiệt sai ổn định của động cơ ứng với khi $t = \infty$.

$$\tau_{od} = \frac{\Delta P}{A} \, (^0C) \qquad (6\text{-}6)$$

$\tau_{bd}$ - Nhiệt sai ban đầu của động cơ ứng với khi $t = 0$.

Như vậy giả sử ban đầu động cơ làm việc ổn định với phụ tải nhỏ là $P_{c1}$, ứng với tổn thất công suất (nhỏ) $\Delta P_1$ và nhiệt sai làm việc ổn định là $\tau_1 = \Delta P_1/A$. Nếu ta tăng phụ tải động cơ lên giá trị $P_{c2}$ ($P_{c2} > P_{c1}$) thì tổn thất công suất trong động cơ tăng lên $\Delta P_2$, tương ứng với nhiệt sai ổn định là $\tau_{od2} = \Delta P_2/A$. Thay các giá trị $\tau_{bd} = \tau_1$ và $\tau_{0d} = \tau_{0d2}$ vào (6-4) ta sẽ được biểu thức của nhiệt sai $\tau = f(t)$ trong quá trình tăng nhiệt của động cơ, theo đó ta vẽ được "*đường cong phát nóng*" như trên hình 6-1a.




***Hình 6 - 1****. Đường cong phát nóng (a) và nguội lạnh (b) của động cơ*

Ngược lại, giả sử động cơ đang làm việc với tải $P_{c2}$, tương ứng với nhiệt sai $\tau_2 = \tau_{0d2}$, nếu ta giảm phụ tải xuống $P_{c1}$, thì nhiệt sai của nó sẽ giảm từ giá trị ban đầu $\tau'_{bd} = \tau_2 = \tau_{0d2}$ xuống giá trị ổn định $\tau_{0d1} = \frac{\Delta P_1}{A}$. Thay $\tau_{bd} =$

$\tau_2 = \tau_{0d2}$ và $\tau_{0d} = \tau_{0d1}$ vào biểu thức (6-4) ta sẽ nhận được biểu thức nhiệt sai $\tau = f(t)$ trong quá trình giảm nhiệt của động cơ, và theo đó ta được "*đường cong nguội lạnh*" như trên hình vẽ 6-1b.

Biểu thức (6-4) cho thấy thời gian thay đổi nhiệt độ của động cơ phụ thuộc vào hằng số thời gian phát nóng $T_n$. Về lý thuyết, động cơ đạt đến nhiệt sai ổn định $\tau_{0d}$ khi thời gian tiến tới vô cùng ($t \to \infty$). Nhưng thực tế khi nhiệt sai đạt đến 95% $\tau_{0d}$ người ta coi như đã ổn định, tương ứng ta có thời gian phát nóng của động cơ là :

$$t_{pn} \approx 3T_n \qquad (6\text{-}7)$$

Động cơ càng lớn, $T_n$ càng lớn và $t_{pn}$ càng lâu. Ngoài ra, $T_n$ còn phụ thuộc vào điều kiện làm mát của động cơ và kiểu vỏ bảo vệ. Đối với loại động cơ tự quạt mát, $T_n$ còn phụ thuộc vào tốc độ làm việc. Sau đây là giá trị của hằng số thời gian phát nóng của một số loại động cơ :

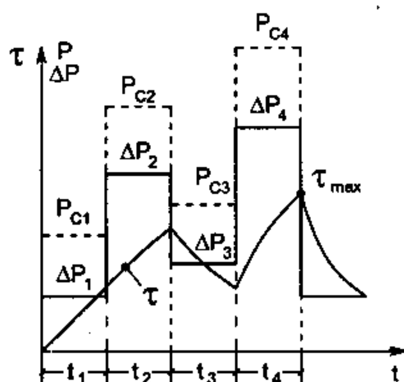
- Động cơ nhỏ, kiểu hở : $T_n \approx 5 \div 20$ phút .
- Động cơ công suất trung bình, kiểu hở, quạt gió ngoài : $T_n \approx 20 \div 40$ phút.
- Động cơ công suất lớn, kiểu hở, quạt gió ngoài : $T_n \approx 30 \div 50$ phút.
- Động cơ kiểu kín, làm mát bề mặt : $T_n \approx 50 \div 120$ phút.

### 6.1.3. Sự phát nóng của động cơ khi phụ tải biến đổi

Nếu trong thời gian làm việc, phụ tải trên trục động cơ thay đổi như đồ thị trên hình 6-2 (đường nét đứt $P_c$), thì theo kết quả phân tích ở trên ta có thể xác định giá trị tổn thất công suất $\Delta P_i$ tương ứng trong các khoảng thời gian $t_i$ :

$$\Delta P_i = P_{ci} \frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \qquad (6\text{-}8)$$

Trong đó, i – các chỉ số 1,2,3,4 trên đồ thị ; $\eta_i$ – hiệu suất của động cơ tương ứng với công suất làm việc $P_{ci}$. Theo đó ta vẽ được đồ thị $\Delta P = f(t)$ như trên hình 6-2 (đường nét liền $\Delta P$).



*Hình 6 - 2. Nhiệt sai của động cơ khi phụ tải biến đổi*

Nếu động cơ đã được chọn trước, nghĩa là đã biết các giá trị nhiệt dung C, hệ số tản nhiệt A hoặc hằng số thời gian phát nóng $T_n$ của động cơ thì theo biểu thức (6-4) ta vẽ được các đường cong $\tau = f(t)$ trong từng

khoảng thời gian $t_i$ và kết quả sẽ có toàn bộ đường cong $\tau = f(t)$ trong thời gian làm việc của động cơ như trên hình 6-2 (đường cong $\tau$).

Từ đường cong nhiệt sai, ta xác định được nhiệt sai lớn nhất $\tau_{max}$, và tương ứng là nhiệt độ lớn nhất của động cơ :

$$t^0_{max} = \tau_{max} + t^0_{mt}$$

Kết quả này được dùng để kiểm nghiệm công suất động cơ theo điều kiện (6-1) : Nếu thoả mãn, công suất động cơ đã được chọn đúng.

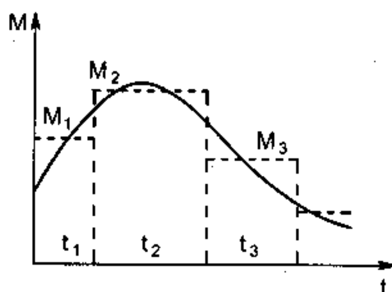
Tuy nhiên việc tính toán này chỉ có tính chất lý thuyết, vì thực tế không đủ số liệu để tiến hành, vì vậy người ta phải sử dụng các phương pháp khác, gián tiếp nhưng đơn giản hơn và sẽ trình bày trong các tiết 6-3, 6-4, 6-5.

## 6.2. ĐỒ THỊ PHỤ TẢI VÀ SỰ PHÂN LOẠI CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA ĐỘNG CƠ

### 6.2.1. Định nghĩa đồ thị phụ tải

Đồ thị phụ tải của truyền động điện là quan hệ giữa công suất hoặc momen trên trục động cơ với thời gian làm việc $P = f(t)$ hoặc $M = f(t)$.

Như ta đã biết, đồ thị phụ tải là cơ sở để tính toán phát nóng động cơ, tức cơ sở chủ yếu để tính chọn công suất động cơ. Tiết 6-1 đã cho ta làm quen với đồ thị phụ tải công suất $P_c = f(t)$ . Tuy nhiên, trong thực tế người ta thường sử dụng đồ thị phụ tải momen $M_c = f(t)$, vì momen dễ xác định hơn.




*Hình 6 - 3. "Bậc thang hoá" đồ thị phụ tải dạng biến đổi liên tục*

Phần lớn đồ thị phụ tải có dạng đột biến bậc thang, ví dụ như hình 6-2. Tuy nhiên, có trường hợp đó là những đường cong liên tục. Để tiện tính toán ta có thể "bậc thang hoá" những đường cong này như trình bày trên hình 6-3.

### 6.2.2. Đồ thị phụ tải tĩnh và đồ thị phụ tải toàn phần

Cần phân biệt hai loại đồ thị phụ tải :

- Đồ thị phụ tải tĩnh, đó là quan hệ giữa momen cản tĩnh hoặc công suất do máy sản xuất gây ra trên trục động cơ và thời gian làm việc. Người ta còn gọi loại này là "đồ thị phụ tải của máy sản xuất" và ký hiệu : $M_c = f(t)$ hoặc $P_c = f(t)$.

Đồ thị phụ tải tĩnh được coi là số liệu cho trước, hình thành từ việc tính toán lực cản và công suất cơ trên cơ cấu công tác của máy sản xuất tương ứng với các chế độ làm việc xác lập của hệ truyền động. Đồ thị phụ tải tĩnh thường dùng để chọn sơ bộ công suất động cơ.

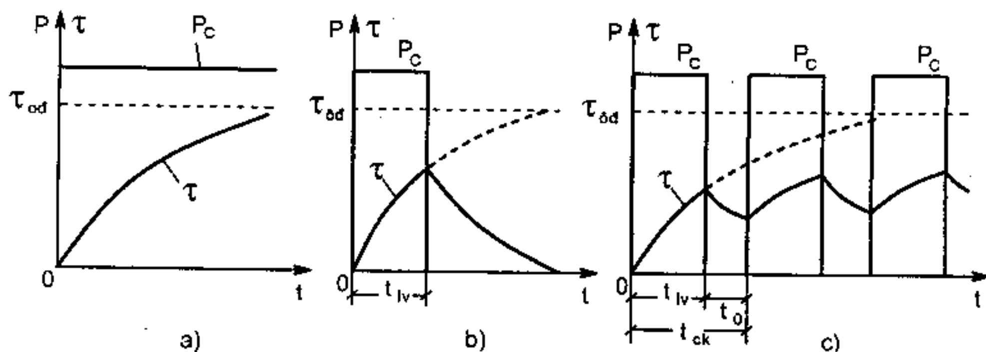
- Đồ thị phụ tải toàn phần, hay còn gọi là đồ thị phụ tải của động cơ, bao gồm cả phụ tải tĩnh (nêu trên) và phụ tải động phát sinh trong các quá trình quá độ như khởi động, dừng máy, đảo chiều, thay đổi tốc độ. Có thể thấy rõ sự khác biệt giữa hai loại đồ thị phụ tải này từ phương trình chuyển động : $M = M_c + Jd\omega/dt$. Phần phụ tải động $Jd\omega/dt$ được bổ sung vào phụ tải tĩnh $M_c$, sẽ cho ta đồ thị phụ tải toàn phần $M = f(t)$ hoặc $P = f(t)$. Ngoài ra đồ thị phụ tải toàn phần còn được biểu diễn theo dòng điện động cơ $I = f(t)$.

Đồ thị phụ tải toàn phần được xây dựng trong quá trình tính toán, sau khi dã chọn sơ bộ động cơ, nghĩa là khi đã có thêm các số liệu của động cơ như momen quán tính, tốc độ, gia tốc .... Nó được dùng để tính toán kiểm nghiệm động cơ đã chọn.

### 6.2.3. Phân loại chế độ làm việc của động cơ

Từ lí thuyết phát nóng và nguội lạnh của động cơ điện, người ta chia ra ba chế độ làm việc của động cơ tương ứng với ba dạng đồ thị phụ tải đặc trưng : dài hạn, ngắn hạn, và ngắn hạn lặp lại.

***a) Chế độ dài hạn*** là chế độ làm việc khi phụ tải được duy trì trong thời gian đủ dài để nhiệt sai của động cơ đạt đến giá trị ổn định. Hình 6-4a biểu thị đồ thị phụ tải dài hạn không đổi $P_c = f(t) = const$ và đường cong nhiệt sai của động cơ với giá trị $\tau$ đạt đến $\tau_{od}$. Động cơ của các máy như quạt gió, bơm nước, các máy công cụ cỡ lớn như máy tiện đứng, máy bào giường, máy cán liên tục, băng tải ... đều làm việc ở chế độ dài hạn.




*Hình 6 - 4. Đồ thị phụ tải và đường cong nhiệt sai ở các chế độ làm việc của động cơ*
*a) Dài hạn ; b) Ngắn hạn ; c) Ngắn hạn lặp lại*

***b) Chế độ ngắn hạn*** : ở chế độ này, thời gian tồn tại của phụ tải đủ ngắn nên nhiệt sai của động cơ chưa kịp đạt đến giá trị ổn định, còn thời gian mất tải lại rất dài nên nhiệt sai của động cơ giảm đến không mà chu kỳ tiếp theo của phụ tải vẫn chưa xuất hiện (hình 6-4b). Động cơ đóng mở cửa đập nước, động cơ nâng hạ nhịp cầu giao thông, động cơ kẹp phôi trong máy cắt gọt kim loại,... thường làm việc ở chế độ này.

Đặc trưng cho đồ thị phụ tải của chế độ ngắn hạn là độ lớn của phụ tải $P_c$ hoặc $M_c$ và thời gian làm việc tương ứng $t_{lv}$ (thường $t_{lv} \leq 10$ phút).

***c) Chế độ làm việc ngắn hạn lặp lại*** : Đặc điểm của chế độ này là thời gian làm việc (có tải) không đủ cho nhiệt độ động cơ tăng đến giá trị ổn định, và thời gian nghỉ cũng không đủ để cho nhiệt độ động cơ giảm đến nhiệt độ môi trường ($\tau \to 0$). Ví dụ điển hình của chế độ ngắn hạn lặp lại là động cơ của thang máy, cần trục, các máy công cụ vạn năng,... Đồ thị phụ tải và đường cong nhiệt sai động cơ ở chế độ này được trình bày trên hình 6-4c.

Đặc trưng cho đồ thị phụ tải ngắn hạn lặp lại là độ lớn của phụ tải $P_c$ hoặc $M_c$ và "*thời gian đóng điện tương đối*" TĐ hoặc TĐ% :

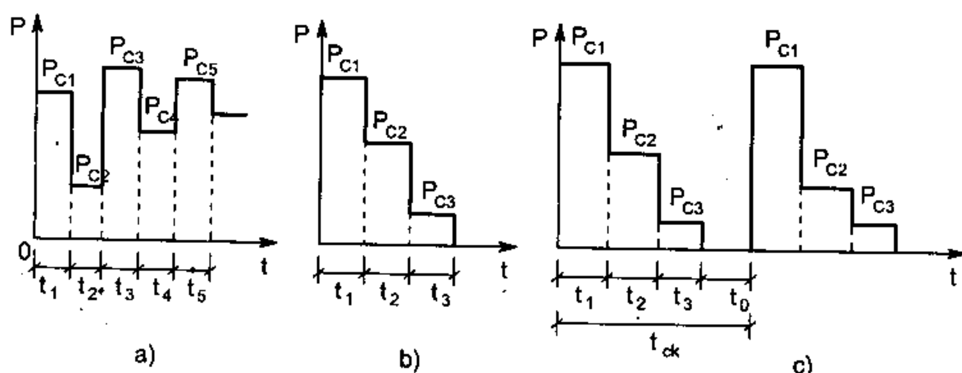
$$TĐ = \frac{t_{lv}}{t_{ck}} \quad ; \quad TĐ\% = \frac{t_{lv}}{t_{ck}} 100\% \qquad (6\text{-}9)$$

Trong đó :

$t_{lv}$ - thời gian làm việc (có tải) ;

$t_{ck} = t_{lv} + t_0$ – thời gian của chu kỳ, gồm $t_{lv}$ và thời gian nghỉ $t_0$.
Thường quy định $t_{ck} \leq 10$phút

*Chú ý :* Các dạng đồ thị phụ tải trên hình 6-4 ít gặp. Thực tế, trong thời gian có tải, phụ tải thường biến đổi nhiều bậc, như các dạng vẽ trên hình 6-5.




***Hình 6 - 5.*** *Đồ thị phụ tải biến thiên của các chế độ làm việc*
*a) Dài hạn ; b) Ngắn hạn ; c) Ngắn hạn lặp lại*

## 6.3. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC Ở CHẾ ĐỘ DÀI HẠN

Phần trên đã đưa ra khái niệm về yêu cầu tính chọn đúng công suất động cơ và cơ sở tính toán nhiệt khi động cơ mang tải và tăng giảm phụ tải. Sau đây ta sẽ ứng dụng các cơ cở ấy để tính toán công suất động cơ cho từng loại phụ tải dài hạn, ngắn hạn và ngắn hạn lặp lại. Trước hết ta xét cho trường hợp động cơ làm việc ở chế độ dài hạn.

Trường hợp đơn giản nhất là khi tải dài hạn không đổi ($P_c$ = const), ta chỉ cần chọn động cơ có công suất định mức $P_{dm}$ lớn hơn (xấp xỉ) công suất phụ tải:

$$P_{dm} \geq P_c \qquad (6\text{-}10)$$

Tuy nhiên, thực tế ít gặp trường hợp này. Đa số trường hợp thuộc loại phụ tải biến đổi. Lúc đó việc tính chọn công suất sẽ phức tạp hơn. Việc tính toán được tiến hành như sau:

### 6.3.1. Lấy số liệu

Số liệu cho trước bao gồm :

- Đồ thị phụ tải tĩnh $M_c = f(t)$ hoặc $P_c = f(t)$.

- Giá trị momen cản lớn nhất, có thể lấy trong đồ thị phụ tải $M_c = f(t)$ : $M_{c.max}$.

- Momen cản lúc khởi động (khi $\omega = 0$) : $M_{co}$ ;

- Một số số liệu cơ khí khác như momen quán tính của các khâu chuyển động ...

**6.3.2. Các bước tính chọn công suất** : Như đã đề cập ở trên, bài toán chọn công suất động cơ phải thực hiện bằng cách tiến dần từng bước : Chọn sơ bộ và kiểm nghiệm lại, nếu đạt yêu cầu thì bài toán kết thúc, nếu không đạt thì phải chọn lại một động cơ khác gần với yêu cầu hơn và kiểm nghiệm lại cho đến khi đạt yêu cầu.

***a) Chọn sơ bộ công suất động cơ :*** giả sử ta có đồ thị phụ tải dài hạn biến đổi như trên hình 6-2, cho theo công suất $P_c = f(t)$ hoặc dạng tương tự như vậy cho theo momen $M_c = f(t)$. Động cơ sẽ được chọn sơ bộ theo phụ tải trung bình với :

Công suất định mức : $P_{dm} = (1,1 \div 1,3)P_{c.tb}$ (6-11)

Hoặc momen định mức : $M_{dm} = (1,1 \div 1,3)M_{c.tb}$ (6-12)

Trong đó, công suất và momen trung bình được tính theo đồ thị phụ tải đã cho :

$$P_{c.tb} = \frac{P_{c1}t_1 + P_{c2}t_2 + ...}{t_1 + t_2 + ...} = \frac{\sum P_{ci}t_i}{t_{ck}} \quad (6\text{-}13)$$

$$M_{c.tb} = \frac{M_{c1}t_1 + M_{c2}t_2 + ...}{t_1 + t_2 + ...} = \frac{\sum M_{ci}t_i}{t_{ck}} \quad (6\text{-}14)$$

$t_{ck} = \sum t_i$ – thời gian của một chu kỳ làm việc.

Theo $P_{dm}$ hoặc $M_{dm}$ tính được từ (6-11) và (6-12), kết hợp với tốc độ yêu cầu ta tra được động cơ và lấy đầy đủ các số liệu của động cơ đó để chuẩn bị cho việc tính toán bước tiếp theo.

***b) Kiểm nghiệm động cơ đã chọn theo điều kiện phát nóng*** : động cơ đã chọn cần phải được kiểm nghiệm theo một số điều kiện, trong đó trước hết phải kiểm nghiệm điều kiện phát nóng.

- *Xây dựng đồ thị phụ tải toàn phần* : Để kiểm nghiệm điều kiện phát nóng, đòi hỏi phải tính toán nhiệt, càng chính xác càng tốt, do đó cần xây dựng đồ thị phụ tải toàn phần. Từ các số liệu động cơ, ta tính toán các quá trình quá độ chủ yếu như khởi động, hãm, đảo chiều (nếu có), tìm được các đường cong theo thời gian của momen động cơ M = f(t) hoặc dòng điện i = f(t), hoặc công suất động cơ P = f(t) trong quá trình quá độ. Bổ sung các giá trị này vào đồ thị phụ tải tĩnh ta được đồ thị phụ tải toàn phần. Đó cũng chính là đồ thị phụ tải của động cơ. Việc tính toán nhiệt để kiểm nghiệm động cơ được tiến hành với đồ thị phụ tải này.

- *Các phương pháp kiểm nghiệm điều kiện phát nóng* : Ta có thể sử dụng một trong các phương pháp sau đây để kiểm nghiệm động cơ đã chọn xem có thoả mãn điều kiện phát nóng hay không :

*** Phương pháp nhiệt sai :** Như đã trình bày trong tiết 6-1, đây là phương pháp cơ sở. Từ đồ thị phụ tải, nếu biết hằng số thời gian phát nóng $T_n$ của động cơ, ta xây dựng được đường cong $\tau = f(t)$, xác định được nhiệt sai cực đại $\tau_{max}$. Động cơ đã chọn sẽ đạt yêu cầu phát nóng nếu thoả mãn điều kiện :

$$\tau_{max} \leq \tau_{cp} \quad (6\text{-}15)$$

Trong đó : $\tau_{cp}$ nhiệt sai cho phép của động cơ, phụ thuộc cấp cách điện sử dụng trong động cơ.

Nếu coi động cơ làm việc dài hạn, thời gian làm việc gồm nhiều chu kỳ, thời gian mỗi chu kỳ đủ nhỏ so với $T_n$, thì đường cong nhiệt sai $\tau = f(t)$ tương đối ổn định. Lúc đó, điều kiện (6-15) có thể biểu thị theo nhiệt sai làm việc $\tau_{lv}$, hoặc nhiệt sai cuối chu kỳ $\tau_{c.ck}$ hoặc nhiệt sai trung bình trong mỗi chu kỳ:

$$\tau_{lv} \leq \tau_{cp} \; ; \quad \tau_{c.ck} \leq \tau_{cp} \; ; \quad \tau_{tb} \leq \tau_{cp} \; ; \quad (6\text{-}16)$$

*** Phương pháp tổn thất trung bình :** như đã nhận xét, phương pháp nhiệt sai cho phép trực tiếp đánh giá nhiệt độ làm việc của động cơ, nhưng khó thực hiện vì thường không biết chính xác hằng số thời gian phát nóng. Do đó người ta sử dụng các phương pháp gián tiếp, thuận tiện hơn trong tính toán thực tế.

Nếu coi nhiệt sai ổn định của động cơ tỷ lệ với tổn thất công suất trong động cơ : $\tau_{od} = \frac{\Delta P}{A}$, thì nhiệt sai trung bình hoặc nhiệt sai cuối chu kỳ làm việc sẽ tỷ lệ với tổn thất công suất trung bình trong chu kỳ:

$$\tau_{tb} = \frac{\Delta P_{tb}}{A} \qquad (6\text{-}17)$$

Như vậy, từ đồ thị phụ tải P = f(t), ví dụ có dạng như trên hình 6-2, ta suy ra đồ thị của tổn thất công suất ΔP = f(t) như đã trình bày trong tiết 6.3.1, từ đó xác định được tổn thất trung bình :

$$\Delta P_{tb} = \frac{\Delta P_1.t_1 + \Delta P_2.t_2 + ...}{t_1 + t_2 + ...} = \frac{\sum \Delta P_i t_i}{t_{ck}} \qquad (6\text{-}18)$$

Mặt khác, đối với động cơ đã chọn sơ bộ, có công suất là $P_{dm}$, tương ứng với tổn thất công suất định mức $\Delta P_{dm}$ và nhiệt sai $\tau_{cp}$ theo thiết kế. Trong đó,

$$\Delta P_{dm} = P_{dm}\frac{1 - \eta_{dm}}{\eta_{dm}} \qquad (6\text{-}19)$$

Và
$$\tau_{cp} = \frac{\Delta P_{dm}}{A} \qquad (6\text{-}20)$$

Thay $\tau_{tb}$ và $\tau_{cp}$ từ (6-17) và (6-20) vào (6-16) ta rút ra điều kiện kiểm nghiệm phát nóng động cơ theo tổn thất trung bình : Động cơ đã chọn sẽ đạt yêu cầu phát nóng nếu thoả mãn điều kiện :

$$\Delta P_{tb} \le \Delta P_{dm} \qquad (6\text{-}21)$$

*** Phương pháp dòng điện đẳng trị :** Phương pháp dòng điện đẳng trị được suy ra từ phương pháp tổn thất trung bình và nó được dùng khi đã có đồ thị phụ tải theo dòng điện động cơ I = f(t).

Giả sử ta có đồ thị dòng điện dạng bậc thang tương tự như trên hình 6-2. Tổn thất công suất trên dây quấn động cơ trong từng khoảng thời gian $t_1$, $t_2$... đều tỷ lệ với bình phương các dòng điện tương ứng : $I_1^2 t_1$ , $I_2^2 t_2$ ... Hãy tưởng tượng ra một giá trị dòng điện đẳng trị $I_{dt}$ không đổi trong cả chu kỳ làm việc để thay cho tất cả các giá trị $I_1$, $I_2$. ... nêu trên với điều kiện cùng gây ra tổn thất trung bình như nhau thì dòng điện đó sẽ là :

$$I_{dt}^2 t_{ck} = I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + ...$$

$$\text{hoặc } I_{dt} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + ...}{t_{ck}}} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 t_i}{t_{ck}}} \qquad (6\text{-}22)$$

Như vậy, dòng đẳng trị $I_{dt}$ tương ứng với tổn thất trung bình trong chu kỳ làm việc $\Delta P_{tb}$.

Mặt khác, đối với động cơ đã chọn sơ bộ, tổn thất định mức của nó $\Delta P_{dm}$ tương ứng với dòng điện định mức $I_{dm}$. Từ nhận xét đó, thay cho điều kiện (6-21) ta suy ra điều kiện kiểm nghiệm phát nóng động cơ theo dòng điện như sau:

$$I_{dt} \leq I_{dm} \qquad (6\text{-}23)$$

Chú ý, điều kiện (6-23) chỉ đúng khi coi tổn thất trong lõi thép động cơ, tổn thất do ma sát, tổn thất do tự quạt mát, cũng như điện trở dây quấn động cơ là không đổi.

*** Phương pháp momen đẳng trị.** Nếu trong quá trình làm việc từ thông động cơ không đổi thì dòng điện và momen động cơ sẽ tỷ lệ với nhau. Từ nhận xét đó, khi có đồ thị phụ tải theo momen M = f(t), ta có thể xác định một giá trị momen đẳng trị không đổi $M_{dt}$ tương tự như (6-22), để thay thế cho tất cả các giá trị $M_1$, $M_2$ ... trong các khoảng thời gian $t_1$, $t_2$ ... của chu kỳ làm việc:

$$M_{dt} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + ...}{t_{ck}}} = \sqrt{\frac{\sum M_i^2 t_i}{t_{ck}}} \qquad (6\text{-}24)$$

và rút ra điều kiện kiểm nghiệm theo momen từ (6-23) : động cơ đã chọn là đạt yêu cầu về phát nóng nếu thoả mãn điều kiện :

$$M_{dt} \leq M_{dm} \qquad (6\text{-}25)$$

Trong đó : $M_{dm}$ – momen định mức của động cơ.

Tuy nhiên, đối với những động cơ có từ thông thay đổi theo công suất như động cơ không đồng bộ thì phương pháp này kém chính xác.

*** Phương pháp công suất đẳng trị.** Nếu trong thời gian làm việc, tốc độ động cơ ít biến đổi, nghĩa là coi $\omega \approx$ const thì công suất của động cơ sẽ tỷ lệ với momen . Khi đó từ (6-24) ta suy ra biểu thức của công suất đẳng trị :

$$P_{dt} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + ...}{t_1 + t_2 + ...}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{t_{ck}}} \qquad (6\text{-}26)$$

Trong đó, $P_1$, $P_2$ ... là giá trị công suất trong đồ thị phụ tải P = f(t) ứng với các khoảng thời gian $t_1$, $t_2$ ... trong chu kỳ làm việc.

Điều kiện chọn đúng động cơ là :

$$P_{dt} \leq P_{dm} \qquad (6\text{-}27)$$

*Chú ý :* Các phương trình momen đẳng trị và công suất đẳng trị được sử dụng để kiểm nghiệm điều kiện phát nóng đối với động cơ đã được chọn sơ bộ, nhưng cũng có thể sử dụng để chọn sơ bộ động cơ. Khi đó ta dùng đồ thị phụ tải tĩnh để xác định $M_{dt}$ và $P_{dt}$, còn điều kiện chọn động cơ sẽ là biểu thức (6 -25) hoặc (6-27) thay cho (6-14) và (6-13).

Các phương pháp nhiệt sai và tổn thất trung bình chỉ dùng cho mục đích kiểm nghiệm động cơ đã chọn mà thôi.

***c) Kiểm nghiệm động cơ đã chọn theo điều kiện quá tải và điều kiện khởi động***

Động cơ đã chọn, sau khi đã kiểm nghiệm thoả mãn điều kiện phát nóng, cần phải được kiểm nghiệm thêm về điều kiện quá tải và điều kiện khởi động. Động cơ sẽ được coi là đạt yêu cầu nếu thoả mãn :

$$M_{max} \geq M_{c.max} \qquad (6\text{-}28)$$

$$M_{KĐ} \geq M_{co} \qquad (6\text{-}29)$$

Trong đó : $M_{cmax}$ – momen cản lớn nhất;

$M_{co}$ – momen cản khi khởi động ($\omega = 0$)

$M_{max}$ – momen lớn nhất của động cơ, có xét đến điều kiện giảm ngẫu nhiên của điện áp nguồn. Ví dụ :

Đối với động cơ không đồng bộ : $M_{max} \approx 0{,}8M_{th}$

Động cơ đồng bộ : $M_{max} \approx (2{,}5 \div 3)M_{dm}$

Động cơ một chiều : $M_{max} \approx (2 \div 2{,}5)M_{dm}$

Tương tự, $M_{KĐ}$ - momen khởi động của động cơ lấy theo giá trị catalo hoặc giá trị cho phép của từng loại động cơ, ví dụ đối với động cơ không đồng bộ và động cơ đồng bộ có cuộn khởi động kiểu không đồng bộ $M_{KĐ}$ lấy theo momen ngắn mạch :

$$M_{KĐ} = M_{nm}$$

Đối với động cơ một chiều, $M_{KĐ}$ lấy theo giá trị cho phép bởi dòng điện phần ứng : $M_{KĐ} = M_{cp} \approx (2{,}0 \div 2{,}5)M_{dm}$.

Ngoài ra, tuỳ thuộc vào loại máy sản xuất, động cơ đã chọn còn có thể phải kiểm nghiệm thêm một số điều kiện khác, ví dụ gia tốc cho phép, lực động hoặc momen động ...

# 6.4. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC Ở CHẾ ĐỘ NGẮN HẠN

Có thể chọn động cơ thông dụng (tức động cơ làm việc dài hạn) hoặc động cơ đặc biệt gọi là "động cơ ngắn hạn" để phục vụ cho các phụ tải ngắn hạn.

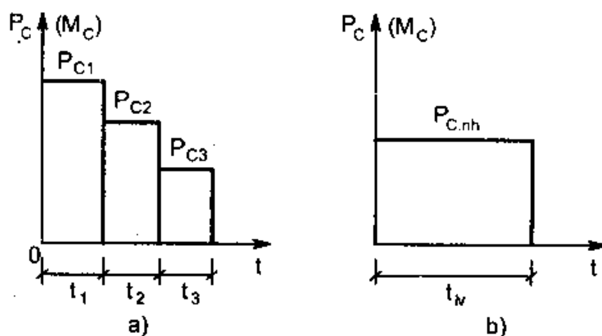
## 6.4.1. Chọn công suất động cơ dài hạn cho phụ tải ngắn hạn

Với đặc điểm của chế độ ngắn hạn như đã nêu trong tiết 6-2, thời gian làm việc (có thể) $t_{lv}$ nhỏ hơn hằng số thời gian phát nóng $T_n$ của động cơ, nên trong thời gian đó nhiệt sai của động cơ chưa đạt đến giá trị ổn định. Vì vậy ta cần tính chọn động cơ có công suất định mức $P_{dm}$ nhỏ hơn công suất phụ tải $P_{c.nh}$, nghĩa là cho động cơ quá tải với một hệ số K nào đó, sao cho cuối thời gian làm việc (khi $t = t_{lv}$) thì nhiệt sai của động cơ đạt đến giá trị cho phép $t_{cp}$. Trình tự tính chọn công suất như sau:

***a) Chọn sơ bộ động cơ :*** Trước hết cần có đồ thị phụ tải tĩnh $P_c = f(t)$ hoặc $M_c = f(t)$. Dựa vào đó ta xác định phụ tải ngắn hạn $P_{c.nh}$ hoặc $M_{c.nh}$ tương ứng với thời gian làm việc $t_{lv}$.

Nếu đồ thị phụ tải có dạng không đổi như trên hình 6-4b thì đương nhiên ta có : $P_{c.nh} = P_c$ ($P_c$ trên đồ thị phụ tải).

Nếu phụ tải biến đổi nhiều cấp như trên hình 6-6a ta sẽ quy về dạng không đổi như trên hình 6-6b với giá trị phụ tải xác định theo phương pháp đẳng trị (tiết 6-3) :




***Hình 6 - 6****. Quy đổi đồ thị phụ tải biến đổi về dạng không đổi*

$$P_{c.nh} = P_{c.dt} = \sqrt{\frac{\sum P_{ci}^2 t_i}{\sum t_i}} \qquad (6\text{-}30)$$

Hoặc
$$M_{c.nh} = M_{c.dt} = \sqrt{\frac{\sum M_{ci}^2 t_i}{\sum t_i}} \qquad (6\text{-}31)$$

và thời gian làm việc :

$$t_{lv} = \Sigma t_i \qquad (6\text{-}32)$$

Xác định hệ số quá tải : từ việc phân tích nhiệt sai làm việc của động cơ như đã nêu trên, người ta đã tìm được biểu thức của hệ số quá tải :

$$K = \sqrt{\frac{a+1}{1-e^{-t_{lv}/Tn}} - a} \qquad (6\text{-}33)$$

Trong đó : a – tỷ số giữa tổn hao thép và tổn hao ma sát với tổn hao đồng trong động cơ.

$$a = \frac{\Delta P_{th+c\sigma}}{\Delta P_{dg}} \qquad (6\text{-}34)$$

Để chọn sơ bộ động cơ, ta có thể lấy gần đúng $a \approx 1$ và $t_{lv}/T_n \approx 0{,}3 \div 0{,}5$ để tính ra K.

Động cơ sẽ được chọn sơ bộ theo điều kiện :

$$P_{dm} \geq \frac{P_{c.nh}}{K} \qquad (6\text{-}35)$$

hoặc $$M_{dm} \geq \frac{M_{c.nh}}{K} \qquad (6\text{-}36)$$

***b) Kiểm nghiệm động cơ đã chọn :*** Việc kiểm nghiệm động cơ được tiến hành tương tự như đối với động cơ làm việc ở chế độ dài hạn :

Trước hết cần xây dựng đồ thị phụ tải toàn phần P = f(t) hoặc M = f(t).

Kiểm nghiệm điều kiện phát nóng theo đồ thị phụ tải toàn phần : tính lại công suất hoặc momen ngắn hạn theo phương pháp đẳng trị (tương tự như biểu thức 6-30 và 6-31) ta được $P_{nh}$ hoặc $M_{nh}$ ; xác định lại các giá trị thời gian $t_{lv}$.

Mặt khác, từ động cơ đã chọn, ta có số liệu để xác định a và $T_n$, do đó có thể tính lại hệ số quá tải chính xác $K_{cx}$.

Cuối cùng, động cơ đã chọn sẽ thoả mãn điều kiện phát nóng nếu công suất định mức của nó :

$$P_{dm} \geq \frac{P_{nh}}{K_{cx}} \qquad (6\text{-}37)$$

Hoặc momen định mức : $$M_{dm} \geq \frac{M_{nh}}{K_{cx}} \qquad (6\text{-}38)$$

Các điều kiện quá tải và khởi động cũng được kiểm nghiệm tương tự như đối với động cơ ở chế độ dài hạn.

### 6.4.2. Chọn công suất động cơ đặc biệt, loại ngắn hạn cho phụ tải ngắn hạn

Người ta có thiết kế chế tạo một loại động cơ đặc biệt để làm việc ở chế độ ngắn hạn. Loại động cơ này có hệ số quá tải lớn và được chế tạo quy chuẩn với các thời gian làm việc $t_{qc}$ = 15, 30, 60 và 90 phút. Công suất định mức và thời gian làm việc quy chuẩn của động cơ được cho trong catalo.

Để chọn sơ bộ động cơ, ta căn cứ $t_{lv}$ của đồ thị phụ tải, dự kiến động cơ có thời gian làm việc quy chuẩn gần nhất (và lớn hơn) $t_{lv}$. quy đồ thị phụ tải về dạng không đổi $P_{c.nh}$ hoặc $M_{c.nh}$ theo (6-30) và (6-31). Sau đó chỉ cần chọn động cơ có $P_{dm} \geq P_{c.nh}$ hoặc $M_{dm} \geq M_{c.nh}$.

Việc kiểm nghiệm động cơ cũng được tiến hành tương tự như trên.

## 6.5. TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ LÀM VIỆC Ở CHẾ ĐỘ NGẮN HẠN LẶP LẠI

Đặc điểm làm việc của chế độ ngắn hạn lặp lại đã được đề cập trong tiết 6-2. Do đặc điểm đó, người ta đã chế tạo loại động cơ đặc biệt để làm việc ở chế độ này với các giá trị quy chuẩn của thời gian đóng điện tương đối $TĐ\%_{qc}$ = 15,25,40 và 60%. Trong catalo của động cơ có ghi $P_{dm}$ và $TĐ\%_{qc}$.

Nếu đồ thị phụ tải có dạng $P_c$ = const như trên hình 6-4c, với thời gian đóng điện tương đối TĐ trùng với một trong các giá trị quy chuẩn, thì chỉ cần chọn động cơ có $TĐ_{qc}$ = TĐ và công suất định mức :

$$P_{dm} > P_c \qquad (6\text{-}39)$$

Nếu đồ thị phụ tải có dạng biến đổi như trên hình 6-5c thì trước hết phải quy về dạng không đổi bằng phương pháp đẳng trị, tương tự như đã làm với tải ngắn hạn, theo (6-30) hoặc (6-31), ta được $P_{cll}$ hoặc $M_{cll}$.

Nếu thời gian đóng điện tương đối của đồ thị phụ tải khác với các giá trị quy chuẩn, ta dự kiến chọn loại động cơ có một giá trị $TĐ_{qc}$ nào đó gần với TĐ của phụ tải (có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn) công suất hoặc momen định mức của động cơ được chọn sơ bộ theo các biểu thức sau :

$$P_{dm} \geq P_{cll}\sqrt{\frac{TĐ}{TĐ_{qc}}}\ ;\ M_{dm} \geq M_{Cll}\sqrt{\frac{TĐ}{TĐ_{qc}}} \qquad (6\text{-}40)$$

Nếu chọn động cơ thông dụng (dài hạn) thì $TĐ_{qc}$ = 1 ($TĐ\%_{qc}$ = 100%)

Theo $P_{dm}$ hoặc $M_{dm}$ và $TĐ_{qc}$ ta chọn sơ bộ động cơ và lấy được các số liệu cần thiết của nó.

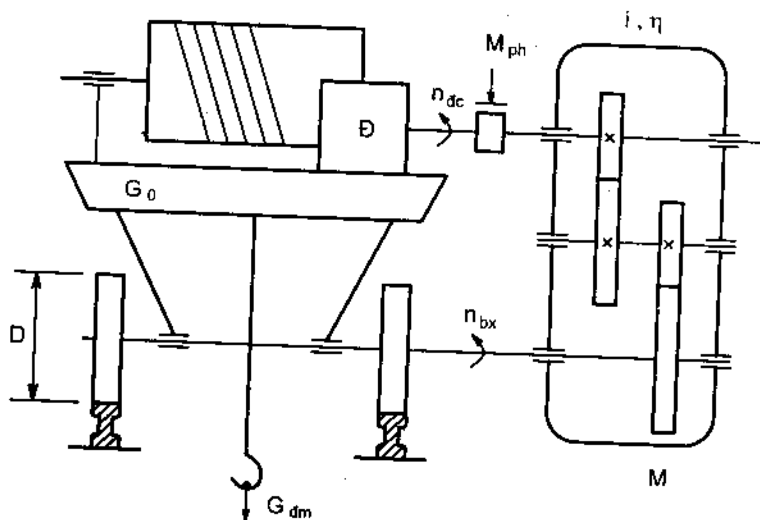
Việc kiểm nghiệm động cơ cũng được tiến hành tương tự như ở động cơ ngắn hạn. Để kiểm nghiệm điều kiện phát nóng, ta căn cứ vào đồ thị phụ tải toàn phần và có thể sử dụng điều kiện (6-40). Muốn kiểm nghiệm chính xác hơn, ta phải tìm giá trị tỷ số các thành phần tổn hao trong động cơ (hệ số a – theo biểu thức 6-34) và điều kiện chọn đúng động cơ sẽ là:

$$P_{dm} \geq P_{ll}\sqrt{\frac{TĐ}{a(TĐ_{qc}-TĐ)+TĐ_{qc}}} \qquad (6\text{-}41)$$

$$M_{dm} \geq M_{ll}\sqrt{\frac{TĐ}{a(TĐ_{qc}-TĐ)+TĐ_{qc}}} \qquad (6\text{-}42)$$

Trong đó : $P_{ll}$, $M_{ll}$ - công suất và momen đẳng trị khi quy đồ thị phụ tải toàn phần biến đổi về dạng không đổi, tương tự như đã làm đối với $P_{cll}$, $M_{cll}$ của đồ thị phụ tải tĩnh.

*** *Ví dụ 6.1 :*** Tính chọn công suất động cơ cho truyền động của xe trục trên cần trục của kho bãi bốc dỡ. Kết cấu cơ khí của xe trục cho trên hình 6 – 7. Yêu cầu sử dụng động cơ không đồng bộ roto dây quấn, khởi động bằng các cấp điện trở phụ trong mạch roto, hãm dừng xe bằng phanh hãm cơ khí còn động cơ được cắt điện.




***Hình 6 - 7.** Kết cấu cơ khí của xe trục*

*Các số liệu cho trước :* Trọng lượng xe $G_0$ = 10T ; tải trọng định mức $G_{dm}$ = 10T; tốc độ xe v= 55m/ph ; lực cản chuyển động khi có tải trọng định mức $F_c$ = 6480N và khi xe chạy không tải $F_{co}$ = 3240N ; hiệu suất hộp giảm tốc khi tải định mức $\eta_{dm}$ = 0,85 và khi không tải η= 0,78 ; tỷ số truyền của hộp tốc độ i = 18 ; đường kính bánh xe D = 0,35m ; momen quán tính của

các bộ phận chuyển động quay lắp trên trục động cơ $J_q = 0,15kgm^2$ ; momen quán tính của các khâu trong hộp giảm tốc lấy bằng $15\%(J_d + J_q)$. Thời gian xe dừng để lấy tải $t_{01} = 150s$ và tháo tải $t_{02} = 100s$ ; momen của phanh hãm cơ khí $M_{ph} = 78,5$ Nm, hành trình mỗi chiều chạy của xe l = 50m. Khi chạy theo chiều tiến xe mang tải trọng định mức, còn khi chạy về – không tải.

***Giải :***

**1. Lập đồ thị phụ tải tĩnh**

Một chu kỳ làm việc của xe có 4 giai đoạn :

- Dừng để lấy tải : thời gian $t_1 = t_{01} = 150s$

Công suất phụ tải $P_c = 0$;

- Chuyển tải trọng đến vị trí, hành trình l = 50m

$$\text{Thời gian } t_2 = \frac{l}{v} = \frac{50}{55/60} = 55s$$

( trong đó : v = 55/60 = 0,916m/s)

Công suất trên trục động cơ khi mang tải trọng định mức :

$$P_c = \frac{F_c.v}{1000.\eta_{dm}} = \frac{6480.0,916}{1000.0,85} = 6,98 \text{ kW}$$

- Dừng để tháo tải :

Thời gian $t_3 = t_{02} = 100s$

Công suất phụ tải : $P_c = 0$

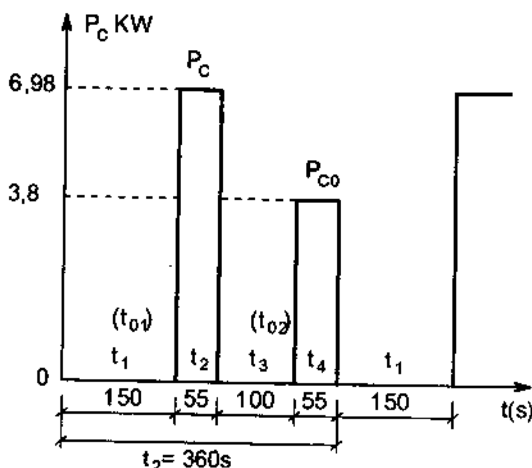
- Xe chạy không về vị trí ban đầu, hành trình l = 50m :

Thời gian

$$t_4 = t_2 = \frac{l}{v} = 55s$$

Công suất trên trục động cơ khi xe chạy không tải :

$$P_{co} = \frac{F_{co}.v}{1000.\eta_{dm}} = \frac{3240.0,916}{1000.0,78} = 3,8kW$$




*Hình 6 - 8. Đồ thị phụ tải tĩnh của truyền động xe trục*

Theo các số liệu đã tính ta có đồ thị phụ tải tĩnh trên hình 6-8. Đó là đồ thị phụ tải của chế độ ngắn hạn lặp lại, có 2 bậc công suất xen kẽ nhau và thời gian đóng điện tương đối là :

$$TĐ\% = \frac{t_2 + t_4}{t_{ck}} 100\% = \frac{2x55}{360}.100\% = 30\%$$

**2. Chọn sơ bộ động cơ**

Với phụ tải có TĐ% = 30% (không trùng với một tiêu chuẩn nào) ta dự kiến chọn động cơ ngắn hạn lặp lại có thời gian đóng điện tương đối quy chuẩn $TĐ\%_{qc} = 25\%$.

Tính quy đổi đồ thị phụ tải hai bậc về dạng một bậc không đổi :

$$P_{c.II} = \sqrt{\frac{P_c^2 t_2 + P_{co}^2 t_4}{t_2 + t_4}} = \sqrt{\frac{6,98^2 + 3,8^2}{2}} = 5,62kW$$

Công suất định mức của động cơ được chọn sơ bộ bằng :

$$P_{dm} \geq K_{dt}.P_{c.II}.\sqrt{\frac{TĐ}{TĐ_{qc}}} = 1,1.5,62\sqrt{\frac{30}{25}} = 7,26kW$$

Trong đó : $K_{dt} = 1,1$ – hệ số dự trữ lúc tính chọn.

Để chọn động cơ, ngoài công suất định mức, thời gian đóng điện tương đối, còn phải biết được cỡ tốc độ yêu cầu. Tốc độ của động cơ sẽ được tính toán dựa vào tốc độ của xe, đường kính bánh xe và tỷ số truyền của hộp giảm tốc :

$$n_{dc} = i.n_{bx} \text{ ; } n_{bx} = \frac{V}{\pi D} \text{ ; do đó } n_{dc} = \frac{i.V}{\pi D}$$

Trong đó : $n_{bx}$ – tốc độ quay của trục bánh xe (vg/ph) ;

V- tốc độ dài của xe (m/ph) ;

Thay số vào ta có :

$$n_{dc} = \frac{18.55}{\pi.0,35} = 900vg/ph$$

hoặc $\omega_{dc} = 900/9,55 = 94,2$ rad/s.

Theo các số liệu $P_{dm}$ , $n_{dc}$ , $TĐ_{qc}$ ta chọn được động cơ rôto dây quấn MT-22-6, $U_{dm} = 380v$ ; $TĐ_{qc} = 25\%$ ; $P_{dm} = 7,5kW$ ; $n_{dm} = 945vg/ph$ ; $\lambda = M_{th}/M_{dm} = 2,8$ ; $J_d = 0,26Kgm^2$.

Từ các số liệu catalo trên đây, ta có thể xác định thêm một số thông số khác của động cơ như sau :

Momen định mức và momen tới hạn :

$$M_{dm} = \frac{1000.P_{dm}}{\omega_{dm}} = \frac{1000.7,5}{94,2} = 76Nm$$

$$M_{th} = \lambda.M_{dm} = 2,8.76 = 213Nm$$

Độ trượt định mức :

$$s_{dm} = \frac{n_0 - n_{dm}}{n_0} = \frac{1000 - 945}{1000} = 0,055$$

Tốc độ góc định mức :

$$\omega_{dm} = n_{dm}/9,55 = 98,9 \text{ rad/s}$$

### 3. Xây dựng độ thị phụ tải toàn phẩn

Đối với đồ thị phụ tải toàn phần, xây dựng theo momen động cơ thì sẽ thuận tiện hơn. Vì vậy ta chuyển từ công suất trên trục (phụ tải tĩnh) về momen :

- Momen cản tĩnh trên trục động cơ khi xe chạy có tải định mức (quy đổi từ cơ cấu công tác về trục động cơ) :

$$M_c = \frac{M_{ct}}{i.\eta_{dm}} = \frac{F_c.D}{2.i.\eta_{dm}} = \frac{6480.0,35}{2.18.0,85} = 74Nm$$

Trong đó : momen cản tác dụng lên trục bánh xe là $M_{ct} = \frac{F_c.D}{2}$ (momen trên cơ cấu công tác).

Momen cản tĩnh trên trục động cơ khi xe chạy không tải :

$$M_{co} = \frac{F_{co}.D}{2.i.\eta} = \frac{3240.0,35}{2.18.0,78} = 40 \text{ Nm}$$

Để xác định phụ tải động và thời gian quá trình quá độ khởi động, đối với động cơ rôto dây quấn điều khiển bằng điện trở phụ trong mạch roto, ta chọn:

- Momen lớn nhất lúc khởi động và tăng tốc :

$$M_1 = 0,9^2 \text{ Mth} = 0,81.213 = 167 \text{ Nm}$$

- Momen chuyển cấp điện trở trong thời gian khởi động :

$$M_2 = 1,2.M_c = 1,2.74 = 88 \text{ Nm}.$$

Vậy momen trung bình trong thời gian khởi động (coi không đổi) sẽ là :

$$M_{kđ} = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{167+88}{2} = 127,5\text{Nm} = \text{const}$$

Để xác định được thời gian các quá trình quá độ lúc khởi động và hãm, ta phải tính toán momen quán tính của hệ thống truyền động quy đổi về trục động cơ, trong đó, $J_đ$ = 0,26Kgm$^2$ đã tra được theo catalo (xem mục 2), momen quán tính của các bộ phận chuyển động quay lắp trên trục động cơ $J_q$ = 0,15Kgm$^2$ (đã cho trong đề bài), vậy cần xác định thêm momen quán tính của các khối có chuyển động thẳng, đó là khối lượng của xe và tải trọng :

Momen quán tính của xe khi có tải trọng định mức quy đổi về tốc độ động cơ :

$$J_{x.qđ} = (m_{đm} + m_0)\left(\frac{V}{\omega_{dc}}\right)^2 = (10.000 + 10.000)\left(\frac{0,916}{94,2}\right)^2 = 1,9\text{Kgm}^2$$

Momen quán tính của xe khi chạy không tải quy đổi về tốc độ động cơ:

$$J_{xo.qđ} = m_0\left(\frac{V}{\omega_{dc}}\right)^2 = 10.000.\left(\frac{0,916}{94,2}\right)^2 = 0,94\text{Kgm}^2$$

Trong đó, $m_{đm} = m_0$ = 10.000kg – khối lượng của tải trọng định mức $G_{đm}$ và của xe $G_0$.

Vậy, mo men quán tính của toàn hệ thống truyền động sẽ là :

Khi xe chạy có tải :

$$J_t = 1,15(J_đ + J_q) + J_{x.qđ} = 1,15(0,26+0,15)+1,9 = 2,37\text{Kgm}^2$$

Khi xe chạy không tải :

$$J_0 = 1,15(J_đ + J_q) + J_{xoqđ} = 1,15(0,26+0,15)+0,94 = 1,42\ \text{Kgm}^2.$$

Trong đó, hệ số 1,15 dùng để xét đến momen quán tính các cặp bánh răng trong hộp giảm tốc.

Để tính thời gian khởi động và hãm, ta sử dụng phương trình chuyển động viết ở dạng sai phân :

$$M - M_c = J\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Trong đó : $\Delta\omega$ - gia số tốc độ, khi khởi động sẽ là $\Delta\omega = \omega_{đm} - 0$ và khi hãm sẽ là $\Delta\omega = 0 - \omega_{đm}$, tương ứng với các $\Delta t$ là thời gian khởi động và thời gian hãm.

Do đó:

- Thời gian khởi động khi xe chạy chiều tiến (có tải) :

$$t_{kd} = \frac{J_t.\omega_{dm}}{M_{kd} - M_c} = \frac{2,37.98.9}{127,5 - 74} = 4,4s$$

- Thời gian khởi động khi xe chạy về (không tải)

$$t_{kd.0} = \frac{J_0.\omega_{dm}}{M_{kd} - M_{c0}} = \frac{1,42.98.9}{127,5 - 40} = 1,62s$$

- Thời gian hãm máy (nhờ phanh cơ khí) khi chạy chiều tiến (có tải)

$$t_h = \frac{J_t.\omega_{dm}}{M_{ph} + M_c} = \frac{2,37.98,9}{78,5 + 74} = 1,55s$$

- Thời gian hãm máy khi xe chạy về (không tải)

$$t_{h0} = \frac{J_0.\omega_{dm}}{M_{ph} + M_{co}} = \frac{1,42.98,9}{78,5 + 40} = 1,34s$$

Ta coi tốc độ xe chạy trong thời gian khởi động và hãm dừng là tốc độ trung bình $V_{tb} = \frac{V_{dm}}{2}$, Trong đó, $V_{dm}$ – Tốc độ xe tương ứng với tốc độ định mức của động cơ :

$$V_{dm} = \frac{\pi.D.n_{dm}}{60.i} = \frac{\pi.0,35.945}{60.18} = 0,96 \quad m/s$$

- Vậy chiều dài quãng đường xe đi được trong thời gian khởi động có tải là:

$$l_{kd} = \frac{V_{dm}}{2}t_{kd} = \frac{0,96}{2}.4,4 = 2,12m$$

- Chiều dài quãng đường xe đi được trong thời gian khởi động không tải là :

$$l_{kd.o} = \frac{V_{dm}}{2}t_{kdo} = \frac{0,96}{2}.1,62 = 0,78m$$

- Tương tự, chiều dài quãng đường xe đi được trong thời gian hãm dừng có tải và không tải là :

$$l_h = \frac{V_{dm}}{2}t_h = \frac{0,96}{2}.1,55 = 0,75m$$

$$l_{h.o} = \frac{V_{dm}}{2}t_{ho} = \frac{0,96}{2}.1,34 = 0,65m$$

- Chiều dài quãng đường xe chạy với tốc độ ổn định khi có tải (chiều tiến) :

$$l_{od} = l - (l_{kd} + l_h) = 50 - (2,12+0,75) = 47,13m$$

- Chiều dài quãng đường xe chạy với tốc độ ổn định khi không tải (chiều về) :

$$l_{od.o} = l - (l_{kđ0} + l_{h0}) = 50 - (0,78+0,65) = 48,57m$$

Tốc độ của động cơ phụ thuộc vào phụ tải trên trục của nó theo đặc tính cơ. Do đó tốc độ khi xe chạy tiến và chạy về sẽ khác nhau. Nếu coi đoạn đặc tính công tác của động cơ là đường thẳng, ta có thể sử dụng phương trình đặc tính cơ dạng $M = \frac{M_{dm}}{s_{dm}}.s$ để xác định độ trượt ứng với momen khi có tải $M_c$ và khi không tải $M_{co}$, từ đó xác định được tốc độ động cơ và tốc độ xe khi chạy chiều tiến và khi chạy về.

- Độ trượt và tốc độ động cơ khi xe chạy chiều tiến (khi có tải $M_c$) :

$$s_c = \frac{M_c}{M_{dm}}.s_{dm} = \frac{74}{76}.0,055 = 0,0537$$

$$n_c = n_0\ (1 - s_c) = 1000\ (1\text{-}0,0537) = 946\ \text{vg/ph.}$$

- Độ trượt và tốc độ động cơ khi xe chạy về (khi không tải $M_{co}$)

$$s_{co} = \frac{M_{co}}{M_{dm}}.s_{dm} = \frac{40}{76}.0,055 = 0,029$$

$$n_{co} = n_0\ (1 - s_{co}) = 1000\ (1\text{-}0,029) = 971\ \text{vg/ph.}$$

- Tương ứng, tốc độ của xe khi chạy tiến và khi chạy về sẽ là :

$$V_c = \frac{\pi D n_c}{60.i} = \frac{\pi.0,35.946}{60.18} = 0,96m/s$$

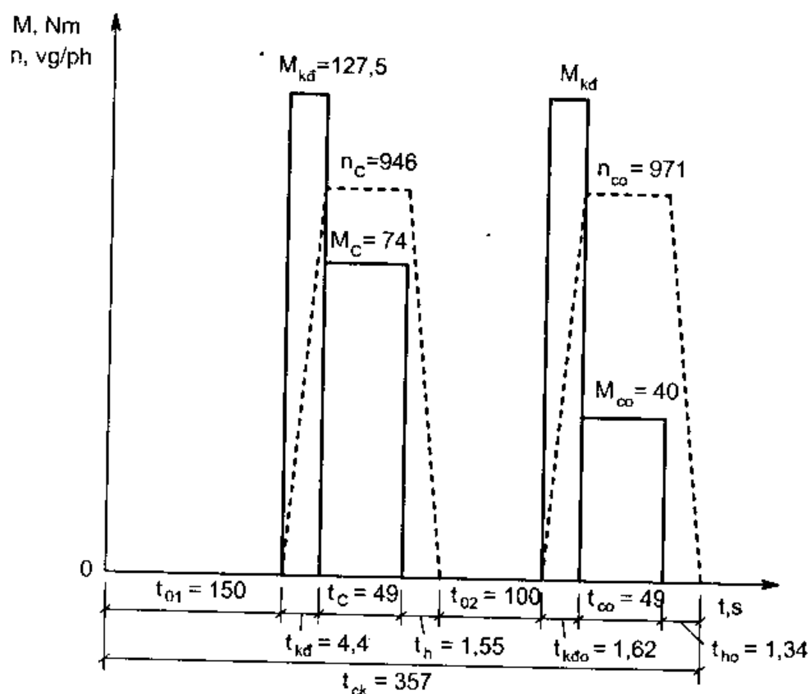
$$V_{co} = \frac{\pi D n_{co}}{60.i} = \frac{\pi.0,35.971}{60.18} = 0,99m/s$$

- Thời gian xe đi chuyển với tốc độ ổn định khi có tải (chạy chiều tiến) và khi không tải (chạy về) :

$$t_c = \frac{l_{od}}{V_c} = \frac{47,13}{0,96} = 49s$$

$$t_{co} = \frac{l_{od.o}}{V_{co}} = \frac{48,57}{0,99} = 49s$$

Từ các giá trị momen và thời gian đã tính toán ở trên, ra vẽ được đồ thị phụ tải toàn phần như trên hình 6-9.




*Hình 6 - 9. Đồ thị phụ tải toàn phần*

**4. Kiểm nghiệm động cơ theo điều kiện phát nóng**

- Thời gian đóng điện tương đối lấy trên đồ thị phụ tải toàn phần là:

$$TĐ\% = \frac{\sum t_{lv}}{\sum t_{lv} + \sum t_o} 100\% = \frac{(t_{kđ} + t_c + t_{kđo} + t_{co})100\%}{(t_{kđ} + t_c + t_{kđo} + t_{co}) + (t_{01} + t_{02} + t_h + t_{ho})}$$

$$= \frac{104}{104 + 253} 100\% = 29,2\%$$

Áp dụng phương pháp momen đẳng trị, ta sử dụng biểu thức (6-24), trong đó chú ý xét đến hiện tượng kém tản nhiệt trong thời gian khởi động vì khi đó động cơ chạy với tốc độ thấp, ta lấy hệ số kém tản nhiệt β = 0,5 :

$$M_{II} = M_{đt} = \sqrt{\frac{M_{kđ}^2(t_{kđ} + t_{kđo}) + M_c^2 t_c + M_{co}^2 t_{co}}{\beta(t_{kđ} + t_{kđo}) + t_c + t_{co}}}$$

$$= \sqrt{\frac{127,5^2(4,4 + 1,62) + 74^2.49 + 40^2.49}{0,5(4,4 + 1,62) + 49 + 49}}$$

= 66,3 Nm

Quy đổi momen này từ TĐ% = 29,2% về thời gian đóng điện tương đối của động cơ (TĐ%$_{qc}$ = 25%), ta có :

$$M_{dt.qc} = M_{II}\sqrt{\frac{TĐ}{TĐ_{qc}}} = 66,3\sqrt{\frac{29,2}{25}} = 71,7Nm$$

So với momen định mức của động cơ $M_{dm}$ = 76 Nm, ta thấy:

$$M_{dm} > M_{dt.qc} .$$

Do đó động cơ đã chọn thoã mãn điều kiện phát nóng.

## 6.6. ĐẶC ĐIỂM TÍNH CHỌN CÔNG SUẤT ĐỘNG CƠ CỦA CÁC HỆ TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN ĐIỀU CHỈNH

Ngày nay các hệ truyền động điện điều chỉnh được sử dụng rất phổ biến. Việc tính chọn công suất động cơ của các hệ này còn phải kèm thêm yêu cầu kiểm nghiệm khả năng làm việc của nó khi tốc độ được điều chỉnh khác giá trị định mức. Đặc điểm cơ bản của việc tính chọn và kiểm nghiệm các động cơ này như sau:

**6.6.1. Tính chọn ban đầu** : Công suất động cơ ở các hệ điều chỉnh cũng được tính chọn ban đầu giống như đối với các động cơ không điều chỉnh đã trình bày trong các tiết 6-3, 6-4 và 6-5 : Chọn sơ bộ (ở tốc độ định mức), kiểm nghiệm điều kiện phát nóng và các điều kiện khác. Nếu động cơ đã đạt được các điều kiện trên, ta chuyển sang bước kiểm nghiệm tiếp theo.

**6.6.2. Kiểm nghiệm theo điều kiện điều chỉnh tốc độ** : Để tiến hành, cần biết loại máy sản xuất mà động cơ sẽ lắp đặt và cần dự kiến phương pháp điều chỉnh tốc độ.

- Dựng đặc tính cơ của máy sản xuất : $M_c = f(\omega)$ hoặc $P_c = f(\omega)$ trong toàn dải điều chỉnh từ $\omega_{min} \div \omega_{max}$ (xem chương I).

- Dựng đặc tính tải cho phép của động cơ khi điều chỉnh $M_{t.cp} = f(\omega)$ hoặc $P_{t.cp} = f(\omega)$ trong dải điều chỉnh nêu trên. Đặc tính này phụ thuộc vào phương pháp điều chỉnh tốc độ, như đã trình bày trong chương III.

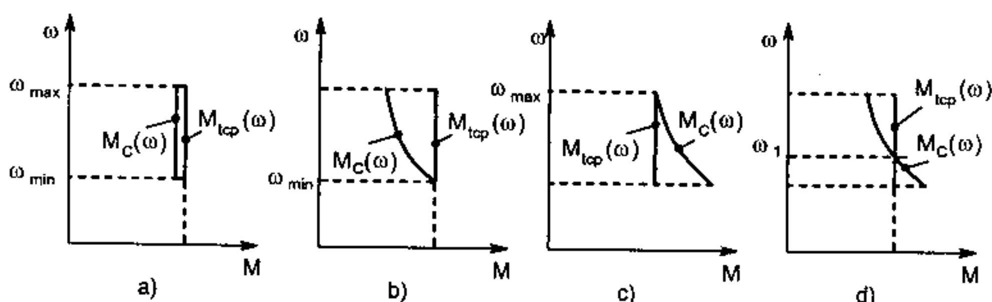
- So sánh hai đường đặc tính :

+ Nếu hai đặc tính $M_c(\omega)$ và $M_{t.cp}(\omega)$ trùng nhau : động cơ hoàn toàn thoả mãn, nó sẽ làm việc tối ưu về phát nóng trong toàn bộ dải điều chỉnh tốc độ (xem hình 6-10a).

+ Nếu đặc tính $M_{t.cp}(\omega)$ nằm ngoài đặc tính $M_c(\omega)$, tức $M_{t.cp} > M_c$ trong toàn bộ dải điều chỉnh tốc độ, động cơ luôn luôn bị non tải ( hình 6-10,b). Trên hình 6-10b, động cơ chỉ làm việc hợp lý về phát nóng duy nhất ở tốc độ $\omega_{min}$, ở đó $M_{t.cp} = M_c$.

+ Nếu $M_{t.cp}(\omega) < M_c(\omega)$ như trên hình 6-10c động cơ luôn bị quá tải với tất cả các tốc độ (trừ tốc độ $\omega_{max}$).

+ Cũng có trường hợp hai đường đặc tính cắt nhau như trên hình 6-10d, động cơ chỉ làm việc hợp lý ở tốc độ $\omega_1$. Ở các cấp tốc độ $\omega < \omega_1$ động cơ bị quá tải, còn khi $\omega > \omega_1$ động cơ lại bị non tải.




***Hình 6 - 10.*** *So sánh đặc tính tải cho phép của động cơ ($M_{tcp}$) và đặc tính cơ của máy sản xuất ($M_c$)*

Như vậy, trừ trường hợp trên hình 6-10a, các trường hợp khác đều coi không đạt về điều kiện điều chỉnh tốc độ. Để khắc phục, ta có thể hiệu đính như sau :

- Chọn lại phương pháp điều chỉnh tốc độ, sao cho đặc tính $M_{t.cp}(\omega)$ của động cơ giống hoặc trùng với đặc tính $M_c(\omega)$ của máy sản xuất .

- Chọn lại động cơ có công suất phù hợp, sao cho không bị quá tải hoặc bị non tải.

## CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Các quan hệ nhiệt sai của động cơ theo thời gian $\tau = f(t)$ được sử dụng với mục đích gì ? Nhịp độ tăng giảm nhiệt sai khi ăn tải hoặc tháo tải của động cơ điện phụ thuộc vào thông số nào ? Nêu ý nghĩa của hằng số thời gian phát nóng $T_n$.

2. Đồ thị phụ tải là gì ? Định nghĩa đồ thị phụ tải tĩnh và đồ thị phụ tải toàn phần. Sự khác nhau giữa hai loại đồ thị phụ tải đó là gì ? Công dụng của từng loại trong việc giải quyết bài toán tính chọn công suất động cơ ?

3. Đối với động cơ điện có mấy chế độ làm việc ? Đặc điểm làm việc của động cơ ở từng loại chế độ đó ? Đồ thị phụ tải của từng loại chế độ được đặc trưng bởi những thông số nào ?

4. Viết công thức tính toán hoặc kiểm nghiệm phát nóng động cơ bằng phương pháp nhiệt sai, tổn thất công suất trung bình, các đại lượng đẳng trị. Công dụng của từng phương pháp đối với bài toán chọn công suất động cơ ?

5. Các bước tính chọn công suất động cơ ở chế độ dài hạn và chế độ ngắn hạn lặp lại ?

# PHỤ LỤC 1

# CÁC BÀI TẬP VẬN DỤNG CÁC CÔNG THỨC ĐÃ HỌC

**Đề tài 1** : Xác định thông số của động cơ điện một chiều kích từ song song. Số liệu cho trước là các thông số catalo. Yêu cầu xác định: từ thông định mức (hoặc $K\Phi_{đm}$), $I_{ư.đm}$, $M_{đm}$ (momen cơ), momen điện từ định mức $M_{đt.đm}$, điện trở phần ứng $R_ư$, điện trở định mức $R_{đm}$; $R_ư^*$; độ sụt tốc ứng với tải định mức $\Delta\omega_c$ và $\Delta\omega_c^*$; tốc độ không tải lí tưởng $\omega_0$; dòng điện ngắn mạch $I_{nm}$, momen ngắn mạch $M_{nm}$; độ cứng đặc tính cơ tự nhiên $\beta$ và $\beta^*$.

*Gợi ý* : Có thể sử dụng các công thức và các quan hệ sau : $\eta_{đm} = P_{đm}/U_{đm}I_{ư.đm}$ ; $M_{đm} = P_{đm}.10^3/\omega_{đm}$ ; $\omega_{đm} = n_{đm}/9,55$ ; $M_{đt} = K\Phi.I_ư$ ; $K\Phi_{đm} = E_{đm}/\omega_{đm} = M_{đt.đm}/I_{ư.đm}$ ; $E_{đm} = U_{đm} - I_{ư.đm}.R_ư$ ; $R_ư = R_ư^*.R_{đm}$; $R_{đm} = U_{đm}/I_{ưđm}$ ; $R_ư^* = \Delta\omega_c^*$; $\Delta\omega_c^* = \Delta\omega_c/\omega_0$ ; $\omega_0 = U_{đm}/K\Phi_{đm}$ ; $\Delta\omega_c = I_{ư.đm}.R_ư/K\Phi_{đm} = M_{đm}R_ư/(k\Phi_{đm})^2$ ; $R_ư \approx 0,5(1-\eta_{đm})R_{đm}$ ; $\beta = (K\Phi_{đm})^2/R_ư = M_{nm}/\omega_0 = M_{đm}/\Delta\omega_c$ ; $I_{nm} = U_{đm}/R_ư$ ; $M_{nm} = K\Phi_{đm}.I_{ư.đm}$; vv...

Số liệu cho trước :

| Phương án | Thông số | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $P_{đm}$ ,kW | $U_{đm}$, V | $n_{đm}$, vg/ph | $\eta_{đm}$ | J , $kgm^2$ |
| 1 | 6,6 | 220 | 2200 | 0,85 | 0,07 |
| 2 | 4,4 | 220 | 1500 | 0,85 | 0,07 |
| 3 | 2,5 | 220 | 1000 | 0,80 | 0,07 |
| 4 | 9 | 220 | 1500 | 0,85 | 0,16 |
| 5 | 10 | 220 | 2250 | 0,87 | 0,125 |
| 6 | 15 | 220 | 1560 | 0,83 | 0,4 |
| 7 | 13,5 | 220 | 1050 | 0,84 | 0,5 |
| 8 | 21 | 220 | 1500 | 0,86 | 0,5 |
| 9 | 33,5 | 220 | 1580 | 0,87 | 1,0 |
| 10 | 46,5 | 220 | 1500 | 0,88 | 1,2 |

**Đề tài 2** : Xác định thông số của động cơ điện xoay chiều không đồng bộ roto dây quấn. Cho trước các số liệu catalo. Yêu cầu xác định các đại lượng: momen (cơ) định mức $M_{đm}$ ; độ trượt định $s_{đm}$, momen tới hạn $M_{th}$ ; độ trượt tới hạn $s_{th}$; hệ số biến áp $K_e$ ; hệ số quy đổi điện trở và điện kháng $K_r$ ; $R_{2đm}$, $R_2^*$, $R_2$, $R_2'$, $X_{nm}$, $X_{nm}'$, momen khởi động $M_{nm}$.

***Gợi ý*** : Có thể vận dụng các công thức và các quan hệ sau (tính chính xác hoặc tính gần đúng) : $\eta_{đm} = P_{đm}.10^3/(\sqrt{3}\,U_{đm}I_{1đm}\cos\varphi_{đm})$ ; $K_e = E_{1đm}/E_{2nm} \approx 0{,}95U_{1đm}/E_{2nm}$ ; $K_r = K_e^2$ ; $R_{2đm} \approx Z_{2đm} = \dfrac{E_{2nm}}{\sqrt{3}I_{2đm}}$ ; $s_{đm} = \dfrac{n_o - n_{đm}}{n_0}$ ; $R_2^* = s_{đm}$ ; $R_2 = R_2^*.R_{2đm}$ ; $R_2' = K_r R_2$ ; $X_{nm}' = K_r X_{nm}$ ; $S_{th} \approx s_{đm}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \approx R_2'/X_{nm}'$ ; $M_{th} = \lambda M_{đm} \approx 3\,U_{1đm}^2/2\,\omega_0 X_{nm}'$ ; $M_{nm} = 2M_{th}/(\dfrac{1}{s_{th}} + s_{th})$,vv...

Số liệu cho trước :

| P.án | Thông số | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $P_{đm}$ kW | $U_{1đm}$ V | $n_{đm}$ vg/ph | $\lambda$ | $I_{1đm}$ A | $\cos\varphi_{đm}$ | $E_{2nm}$ V | $I_{2đm}$ A | J $Kgm^2$ |
| 1 | 1,4 | 380 | 855 | 2,3 | 5,3 | 0,65 | 112 | 4,3 | 0,021 |
| 2 | 3,5 | 380 | 915 | 2,3 | 10,5 | 0,7 | 181 | 13,7 | 0,049 |
| 3 | 5 | 380 | 925 | 2,5 | 14,8 | 0,69 | 206 | 16,6 | 0,067 |
| 4 | 11 | 380 | 945 | 2,8 | 28,6 | 0,73 | 172 | 42,5 | 0,215 |
| 5 | 22 | 380 | 965 | 2,8 | 55 | 0,71 | 225 | 61,0 | 0,50 |
| 6 | 30 | 380 | 720 | 2,8 | 77 | 0,68 | 280 | 67,5 | 1,025 |
| 7 | 40 | 380 | 730 | 2,8 | 101 | 0,69 | 322 | 76,5 | 1,40 |
| 8 | 45 | 380 | 575 | 3,0 | 115 | 0,7 | 185 | 155 | 4,25 |
| 9 | 60 | 380 | 578 | 3,0 | 145 | 0,72 | 245 | 153 | 5,25 |
| 10 | 100 | 380 | 584 | 2,8 | 225 | 0,67 | 275 | 230 | 10,35 |

**Đề tài 3.** Nghiên cứu các chế độ làm việc ở trạng thái động cơ và trạng thái hãm động năng của động cơ điện một chiều kích từ song song. Số liệu cho trước: Động cơ 10 kW, 220V, 54A, 970 vg/ph, $R_ư = 0{,}35\Omega$, điện trở cuộn kích từ $R_k$=140Ω.

1/ Dựng các đặc tính cơ khi có điện trở phụ $R_f$ trong mạch phần ứng và xác định tốc độ làm việc khi nâng tải với phụ tải là $M_c$. Giá trị $R_f$ và $M_c$ cho trong bảng số liệu của đề ra.

2/ Khi hạ tải trọng ta cắt phần ứng động cơ ra khỏi nguồn và nối vào điện trở hãm $R_h$. Hãy xác định giá trị $R_h$ sao cho momen hãm ban đầu của động cơ $M_{hbd} = 2M_{dm}$ ứng với các phương án làm việc khi nâng tải cho trong bảng số liệu của câu 1.

3/ Xác định tốc độ xác lập khi hạ tải trọng với các giá trị $M_c$ cho trong bảng và các giá trị $R_h$ tương ứng đã tính ở câu 2.

| Thông số | Phương án | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $M_c$ (Nm) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| $R_f$ (Ω) | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

*Gợi ý*: - Xác định các số liệu để vẽ đặc tính tự nhiên như : $\omega_0$, $M_{dm}$,... Tương tự như ở đề tài 1.

Xây dựng đặc tính biến trở với điện trở tổng trong mạch phần ứng $R_{ut} = R_u + R_f$ bằng phương trình đặc tính cơ :

$$\omega = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_{ut}}{K\Phi_{dm}} I_u = \frac{U_{dm}}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_{ut}}{(K\Phi_{dm})^2} M,$$

xác định tốc độ động cơ $\omega_n$ khi nâng tải trọng ứng với các giá trị $M_c$ cho trong bảng số liệu bằng cách thay $M = M_c$ vào phương trình trên.

Điểm làm việc ban đầu của trạng thái hãm là điểm ứng với tốc độ $\omega_n$ đã xác định ở trên và $M_{hbd} = 2M_{dm}$. Dòng điện hãm ban đầu tương ứng sẽ là $I_{hbd} = 2I_{dm}$ ; Do đó :

$$R_h = \frac{K\Phi_{dm}.\omega_n}{I_{hbd}} - R_u \quad \Omega$$

Tốc độ xác lập của động cơ khi hạ tải ở trạng thái hãm động năng

$$\omega_h = -M_c \frac{R_u + R_h}{(k\Phi_{dm})^2}$$

**Đề tài 4** : Dựng đặc tính cơ tự nhiên của động cơ không đồng bộ roto lồng sóc theo các số liệu catalo bằng phương pháp chính xác và phương pháp gần đúng. So sánh kết quả của hai phương pháp đó. Số liệu của các phương án cho trong trong bảng số:

| Phương án | Thông số | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $P_{đm}$ kW | $U_{đm}$ (đ.áp dây) V | $n_{đm}$ vg/ph | $\lambda=\frac{M_{th}}{M_{dm}}$ | $K_M=\frac{M_{th}}{M_{dm}}$ |
| 1 | 10 | 380 | 2930 | 2,5 | 1,3 |
| 2 | 14 | 380 | 2930 | 2,5 | 1,5 |
| 3 | 20 | 380 | 2940 | 2,9 | 1,2 |
| 4 | 28 | 380 | 1460 | 2,3 | 1,4 |
| 5 | 40 | 380 | 1460 | 2,3 | 1,2 |
| 6 | 55 | 380 | 1410 | 2,3 | 1,3 |
| 7 | 40 | 380 | 980 | 2,2 | 1,5 |
| 8 | 55 | 380 | 985 | 2,2 | 1,2 |
| 9 | 75 | 380 | 985 | 2,2 | 1,2 |
| 10 | 100 | 380 | 1470 | 2,3 | 1,2 |

*Gợi ý :*

*1. Phương pháp chính xác:*

Sử dụng phương trình :

$$M = \frac{2M_{th}\left(1+as_{th}\right)}{\frac{s}{s_{th}}+\frac{s_{th}}{s}+as_{th}} \qquad (1)$$

Các số liệu của động cơ được xác định tương tự như ở đề btài 2: $M_{dm}$; $M_{th}$; $s_{dm}$ ; $M_{nm}$ ...

Độ trượt tới hạn $s_{th}$ và hệ số a được xác định đồng thời, bằng cách lập 2 phương trình :

Phương trình đặc tính cơ viết cho điểm định mức bằng cách thay $M = M_{dm}$ và $s = s_{dm}$ vào (1) và phương trình viết cho điểm ngắn mạch bằng cách thay $M = M_{nm}$ và $s = 1$ vào ( 1).

Giải 2 phương trình đó ta có nghiệm của 2 ẩn số $s_{th}$ và a. Cuối cùng thay $s_{th}$ và a vào (1) ta có quan hệ M = f(s) và dựng được đường đặc tính cơ chính xác.

*2. Phương pháp gần đúng :*

Sử dụng phương trình :

$$M = \frac{2M_{th}}{\frac{s}{s_{th}} + \frac{s_{th}}{s}} \quad (2)$$

$s_{th}$ có thể xác định bằng cách thay M = $M_{dm}$ và s=$s_{dm}$ vào (2), ta rút ra:

$$s_{th} = s_{dm}\,(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

Cuối cùng thay $s_{th}$ vào (2), ta được quan hệ M = f(s) và dựng được đặc tính gần đúng.

Mỗi phương án số liệu, vẽ 2 đường đặc tính trên cùng 1 hệ toạ độ, để so sánh mức độ sai lệch. Chú ý quan sát độ sai lệch tại những điểm đặc biệt như điểm định mức, điểm tới hạn, điểm ngắn mạch (khởi động), độ cứng của đặc tính cơ trong đoạn công tác.

**Đề tài 5** : Xác định thông số điều chỉnh của động cơ điện một chiều kích từ độc lập khi nối mạch theo hệ "Bộ biến đổi - Động cơ" điều chỉnh điện áp phần ứng.

Số liệu động cơ: 12kW ; 685vg/ph ; 220V ; 64A ; $R_ư$=0,21 Ω

Số liệu bộ biến đổi : Chỉnh lưu tiristo tia ba pha, 17KVA; $U_{do}$ = 245V; $R_{cl}$=0,4Ω, hệ làm việc ở chế độ dòng điện liên tục. Hãy xác định giá trị sđđ (hoặc điện áp) của chỉnh lưu để đảm bảo các giá trị tốc độ tương ứng với momen cản tĩnh trên trục động cơ cho trong bảng số liệu:

| Thông số | Phương án | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $M_c$, Nm | 33,46 | 83,65 | 167,3 | 251 | 167,3 | 251 |
| ω , rad/s | 81,3 | 61,13 | 71,7 | 33,5 | 7,17 | 65,6 |

***Gợi ý :*** 1/ Xác định các số liệu của động cơ, tương tự như ở đề tài 1: $M_{dm}$; $\omega_{dm}$; $K\Phi_{dm}$, ....

2/Viết phương trình đặc tính cơ của hệ BĐ - Đ

$\omega = \frac{E_b}{K\Phi_{dm}} - \frac{R_ư + R_{cl}}{(K\Phi_{dm})^2}M$ . Thay số liệu các phương án từng cặp $M_c$ và ω , lấy trong bảng số liệu, xác định được giá trị $E_b$ tương ứng.

**Đề tài 6** : Một cơ cấu truyền động chính của máy tiện được trang bị hệ thống "Biến tần - Động cơ không đồng bộ lồng sóc" có đặc tính cơ đủ cứng. Yêu cầu điều chỉnh tốc độ với các giá trị cho trong bảng số. Hãy xác định tần số và điện áp đầu ra của bộ biến tần (để cấp vào stato động cơ).

Cho biết : Động cơ 40kW, 1500 vg/ph, 380V, 50Hz.

Phụ tải: $M_c^* = \dfrac{1}{\omega^*}$

Coi $\omega^* = \omega_0^* = f^*$

| Cho trước | n (vg/ph) | 1500 | 1200 | 900 | 600 | 300 | 150 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Xác định | $f_1$ , Hz | | | | | | |
| | $U_1$ , V | | | | | | |

*Gợi ý* : Vì phụ tải thuộc loại máy tiện, có momen cản tỷ lệ nghịch với tốc độ, do đó để đảm bảo sự phù hợp giữa đặc tính momen tải cho phép của động cơ và đặc tính cơ của máy sản xuất, ta sử dụng luật điều khiển λ = const (hệ số quá tải không đổi).

Điện áp stato động cơ phụ thuộc tần số và momen cản theo quan hệ $U_1^* = f_1^* \sqrt{M_c^*}$

Thay $M_c^* = \dfrac{1}{\omega^*} = \dfrac{1}{f^*}$ ta xác định được giá trị điện áp.

# PHỤ LỤC 2

# NỘI DUNG CHÍNH CỦA CÁC BÀI THÍ NGHIỆM

**Đề tài 1** : Tìm hiểu về cấu tạo, các số liệu trên nhãn máy và mạch điện đóng cắt động cơ.

***Bài 1***: Động cơ điện một chiều kích từ song song.

*a) Mục đích*: Làm quen với cấu tạo và mạch điện của động cơ; Phân biệt mạch phần ứng (cuộn dây phần ứng, cuộn bù, cực từ phụ) và mạch kích từ.

*b) Nội dung :*

- Phân tích cấu tạo, các bộ phận của động cơ.
- Đọc và phân tích các số liệu trên nhãn máy.
- Nối mạch khởi động chiều thuận qua biến trở.
- Nối mạch khởi động chiều ngược.

(có thể chỉ khởi động không tải)

***Bài 2*** : Động cơ điện không đồng bộ rôto lồng sóc.

*a) Mục đích:* Làm quen với cấu tạo và mạch điện của động cơ;

*b) Nội dung :*

- Phân tích cấu tạo, các bộ phận của động cơ.
- Đọc và phân tích các số liệu trên nhãn máy
- Hộp đấu dây, đấu Y và đấu Δ
- Nối mạch khởi động chiều thuận (khởi động trực tiếp)
- Nối mạch khởi động chiều ngược

(có thể chỉ khởi động không tải )

**Đề tài 2** : - Lấy đặc tính cơ của các động cơ điện bằng thực nghiệm.

Để lấy được các số liệu thực nghiệm với mục đích xây dựng đường đặc tính cơ ta phải có bộ phụ tải với momen cản $M_c$ điều chỉnh được.

Hơn nữa muốn xây dựng đường đặc tính cơ ở trạng thái động cơ và ở trạng thái hãm, ta phải có bộ phụ tải có khả năng thay đổi chiều của $M_c$.

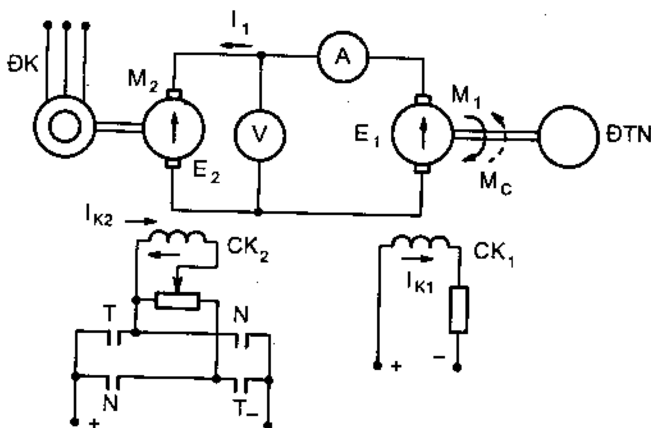
Do đó, tốt nhất là sử dụng tổ máy M1 - M2 - ĐK như trên hình PL1.

Momen cản $M_c$ trên trục động cơ thí nghiệm ĐTN do máy điện một chiều $M_1$ tạo ra và bằng : $M_c = K\Phi_1.I_1$ (Trong đó: $K\Phi_1$ - Từ thông của máy M1).

Bằng cách thay đổi giá trị dòng kích từ $I_{k2}$ của máy $M_2$ ta sẽ làm thay đổi giá trị của $I_1$, do đó thay đổi được $M_c$ trên trục ĐTN. Đo tốc độ ĐTN ứng với các giá trị $M_c$ ta lấy được đường đặc tính cơ.

Nếu chiều của $M_c > 0$ ứng với $I_1 > 0$ được tạo ra khi $E_1 > E_2$, thì để đổi chiều momen cản ($M_c < 0$) ta phải tăng dòng kích từ $I_{k2}$ sao cho $E_2 > E_1$. Khi đó ta sẽ lấy được các đường đặc tính cơ của ĐTN ở các trạng thái hãm.

Để lấy các đặc tính cơ ở chiều quay ngược, ta cho thay đổi chiều dòng kích từ $I_{k2}$ nhờ bộ tiếp điểm đổi chiềuT,N.




***Hình PL1*** *: Sơ đồ nối tổ máy M1 - M2 - ĐK làm phụ tải cho động cơ thí nghiệm ĐTN*

Động cơ thí nghiệm ĐTN có thể là động cơ 1 chiều kích từ độc lập (bài 3) Hoặc động cơ không đồng bộ roto dây quấn (bài 4).

***Bài 3:*** Lấy đặc tính cơ của động cơ một chiều kích từ độc lập ở các trạng thái làm việc khác nhau .

*a) Mục dích :* Làm quen cách nối dây và quan sát sự làm việc của động cơ điện một chiều kích từ độc lập ở chế độ động cơ và ở chế độ hãm bằng cách lấy các đặc tính cơ tự nhiên và nhân tạo bằng thực nghiệm. So sánh kết quả thực nghiệm với tính toán lý thuyết.

*b) Nội dung:* Nối sơ đồ động cơ theo bài học lý thuyết ở các chế độ khác nhau, thay vào vị trí động cơ thí nghiệm ĐTN trên hình PL1.

- Khởi động động cơ không tải theo bài 1.

- Lấy đặc tính cơ tự nhiên (khi đã loại hết điện trở phụ khởi động) nhờ thay đổi $M_c$ như đã trình bày ở trên.

- Lấy các đặc tính nhân tạo biến trở (khi cho một điện trở phụ $R_f$ cố định trong mạch phần ứng).

- Lấy đặc tính cơ khi hãm động năng, bằng cách chuyển đổi mạch điện phần ứng cắt khỏi nguồn một chiều và nối vào điện trở hãm, đồng thời thay đổi chiều momen cản $M_c$ như đã trình bày ở trên.

***Bài 4 :*** Lấy đặc tính cơ của động cơ không đồng bộ roto dây quấn ở các trạng thái làm việc khác nhau.

*a) Mục đích :* Tập nối dây và quan sát sự làm việc của động cơ ở các trạng thái làm việc, cách lấy đặc tính thực nghiệm và so sánh với kết quả tính toán lý thuyết.

*b) Nội dung* : Nối động cơ có điện trở phụ roto vào vị trí của ĐTN trong sơ đồ PL1.

- Khởi động động cơ lên tốc độ không tải, loại hết điện trở phụ, lấy đặc tính cơ tự nhiên.

Chú ý: Cần dùng biến áp tự ngẫu để hạ điện áp stato xuống đủ nhỏ ($U_{TN}$) để lấy được đoạn đặc tính làm việc cho đến điểm tới hạn. Sau đó tính qui đổi mạch động cơ về điện áp định mức (bằng cách nhân các giá trị momen M = $M_c$ với $(U_{dm}/U_{TN})^2$.

- Lấy các đặc tính nhân tạo biến trở, với các giá trị điện trở phụ cố định $R_f$ trong ba pha của roto động cơ thí nghiệm .

- Lấy đặc tính cơ hãm ngược trên đặc tính nhân tạo có $R_f$ lớn nhất bằng cách tăng $I_1$, cho $M_c$ đủ lớn để làm cho động cơ ĐTN quay ngược.

**Đề tài 3** : Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều và động cơ không đồng bộ.

***Bài 5:*** Điều chỉnh tốc độ động cơ một chiều kích từ độc lập bằng cách thay đổi điện áp phần ứng trong hệ thống " chỉnh lưu - động cơ" .

*a) Mục đích:* - Làm quen với bộ chỉnh lưu điều khiển, hệ thống chỉnh lưu động cơ và các thao tác điều khiển cho phép thực hiện trên thiết bị .

*b) Nội dung:* Tìm hiểu về bộ chỉnh lưu, các khâu chức năng, phần tử điều chỉnh, dạng điện áp (ossilo) trên đầu ra, giá trị trung bình của điện áp chỉnh lưu (trên von mét một chiều).

Thay đổi tín hiệu điều khiển chỉnh lưu, đọc giá trị điện áp trên phần ứng và giá trị tốc độ động cơ.

***Bài 6 :*** Điều chỉnh tốc độ động cơ không đồng bộ lồng sóc bằng cách thay đổi tần số theo hệ thống "Biến tần -Động cơ".

*a)Mục đích* : làm quen với hình dáng thiết bị và các bộ phận bên ngoài của hệ "Biến tần- Động cơ", cách đặt thông số, tần số, điện áp ... Quan sát hệ "Biến tần - Động cơ"

*b) Nội dung* : Tập nối dây của một số mạch động cơ và bộ biến tần: Phần mạch lực, phần các mạch phản hồi và các dụng cụ phụ trợ.

Vẽ và thuyết minh sơ đồ khối của hệ trên bàn thí nghệm.

Đặt thông số thao tác cho hệ thống hoạt động, quan sát và đọc các số liệu làm việc của hệ : tần số ,điện áp, tốc độ.

**<u>Đề tài 4</u>** : (Đối với hệ cao đẳng) Khảo sát tác động của các khâu phản hồi trong hệ truyền động tự động.

Các thiết bị bài 5, bài 6 được sử dụng cùng với bộ phụ tải động trên hình PL1. Nội dung thí nghiệm có hai phần cơ bản:

- Lấy đặc tính cơ của động cơ (ở trạng thái động cơ) của hệ hở (cắt hở các mạch phản hồi).

- Lấy đặc tính cơ của hệ khi nối một mạch phản hồi và hai mạch phản hồi. So sánh hai họ đặc tính nêu trên.

So sánh đặc tính hệ kín với kết quả tính toán lý thuyết.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO CHÍNH

1/ Bùi Đình Tiếu, Phạm Duy Nhi. Cơ sở truyền động điện tự động. Tập I và tập II - NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp - Hà Nội - 1983.

2/ X.N Vesenevxki - Các đặc tính của động cơ trong truyền động điện - Bùi Đình Tiếu - Lê Tòng dịch, NXB khoa học và kỹ thuật - Hà Nội - 1979.

3/ Bùi Quốc Khánh - Nguyễn Văn Liễn - Nguyễn Thị Hiền - Truyền động điện - NXB năm 2001.

4/ Cyril W-Lander - Điện tử công suất và điều khiển động cơ điện.

Lê Văn Doanh dịch - NXB khoa học và kỹ thuật - Hà Nội - 1993.

5/ Bùi Đình Tiếu- Nguyễn Trọng Thuần - Một số ứng dụng của thiết bị điện từ, điện tử và bán dẫn trong máy sản xuất- NXB khoa học và kỹ thuật - Hà Nội - 1985.

6/ H. Buhler - Réglage de systèmes d'électronique de puissance. Presses polytechniques et universitaires romandes -Lausanne-1997.

7/ M.G. Chilikin, .... Lý thuyết truyền động điện tự động. NXB Năng lượng - Moskva -1979 (Bản tiếng Nga).

# Mục lục

*Chịu trách nhiệm xuất bản :*

Chủ tịch HĐQT kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Phó Tổng Giám đốc kiêm Tổng biên tập VŨ DƯƠNG THỤY

*Biên tập nội dung :*
TRẦN TRỌNG TIẾN
*Biên tập kĩ thuật*
TRẦN KIM QUY
*Trình bày bìa :*
TRẦN THÚY HẠNH
*Thiết kế sách :*
VŨ TUẤN HIỆP
*Sửa bản in :*
BÌNH MINH
*Chế bản :*
PHÒNG CHẾ BẢN (NXB GIÁO DỤC)

---

***Giáo trình* TRUYỀN ĐỘNG ĐIỆN**
**Mã số : 6H146T5 - DAI**

In 2.000 bản, khổ 16 x 24 cm, tại Công ty in Thái Nguyên. Số in: 1271. Số xuất bản: 21/235-05. In xong và nộp lưu chiểu tháng 2 năm 2005.



CÔNG TY CỔ PHẦN SÁCH ĐẠI HỌC - DẠY NGHỀ
**HEVOBCO**
Địa chỉ : 25 Hàn Thuyên, Hà Nội



NGÔI SAO BẠCH KIM CHẤT LƯỢNG QUỐC TẾ











**Giá: 18.500đ**